



MÉTALLURGIE

PRATIQUE

DU FER.

DE L'IMPRIMERIE DE CRAPELET,
RUE DE VAUGIRARD, N° 9.

MÉTALLURGIE

PRATIQUE

DU FER,

OU

DESCRIPTION MÉTHODIQUE
DES PROCÉDÉS DE FABRICATION DE LA FONTE ET DU FER,

ACCOMPAGNÉE DE DOCUMENS RELATIFS A L'ÉTABLISSEMENT DES USINES,
A LA CONDUITE ET AUX RÉSULTATS DES OPÉRATIONS;

PAR WALTER DE SAINT-ANGE,

EX-OFFICIER D'ARTILLERIE, ANCIEN DIRECTEUR DE HAUTS-FOURNEAUX, FORGES ET ATELIERS DE CONSTRUCTIONS;
INGÉNIEUR CIVIL, PROFESSEUR A L'ÉCOLE CENTRALE DES ARTS ET MANUFACTURES, ETC., ETC.;

AVEC

ATLAS

DES MACHINES, APPAREILS ET OUTILS ACTUELLEMENT EMPLOYÉS,

RENFERMANT TOUS LES DÉTAILS NÉCESSAIRES POUR EXÉCUTER LES CONSTRUCTIONS;

DESSINÉ ET GRAVÉ

PAR LE BLANC,

PROFESSEUR AU CONSERVATOIRE DES ARTS ET MÉTIERS, ET CONSERVATEUR DES COLLECTIONS, ETC., ETC.



PARIS,

LIBRAIRIE SCIENTIFIQUE ET INDUSTRIELLE
DE L. MATHIAS (AUGUSTIN),
QUAI MALAQUAIS, N° 15.

1835-1838.



MÉTALLURGIE PRATIQUE
DU FER.

PREMIÈRE PARTIE.

FABRICATION DE LA FONTE.

ERRATA

DE LA PREMIÈRE PARTIE.

Page 33, dernière ligne, Houzeau-Maison; *lisez :* Houzeau-Muiron.
55, ligne 4, note, M. Le Pelet; *lisez :* M. Leplay.
64, ligne 34, protégés par; *lisez :* protégés contre.
73, ligne dernière, *après ces mots :* de la consolider, *ajoutez :* enfin les dispositions de locaux et bâtimens accessoires.
85, ligne 31, sa largeur; *lisez :* sa longueur.
111, ligne 5, nécessaires à; *lisez :* qu'exige.
123, avant-dernière ligne, on supprime laitier; *lisez :* on supprime le laitier.
140, ligne 6, pour les charges; *lisez :* les charges.
144, ligne 3, les laitiers de; *lisez :* les laitiers des.
Id., ligne 31, et au vent; *lisez :* et au ventre.
154, colonnes de tableau et notes, *au lieu de* couches, *lisez :* couches.
157, ligne 1, des forges; *lisez :* de Forges.
162, ligne 7, entre les guides; *lisez :* entre des guides.
171, ligne 4, section Ire; *lisez :* section II.
172, ligne 26, ajustés; *lisez :* ajustées.
173, ligne 5, affluante; *lisez :* affluente.

Au commencement de la IIe Partie se trouve une autre indication des fautes.

AVANT-PROPOS.

BUT ET PLAN DE L'OUVRAGE. — CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES SUR LA POSITION DES USINES A FER, ET SUR LES AMÉLIORATIONS A Y INTRODUIRE.

Les ouvrages publiés jusqu'à ce jour sur la métallurgie du fer sont, en général, plus théoriques que pratiques, et le maître de forges n'y trouve que rarement, et toujours d'une manière trop générale, les documens dont il a le plus souvent besoin, soit pour établir ses machines et appareils, soit pour diriger ses opérations et en apprécier les résultats économiques. Il y cherche surtout en vain des dispositions, des formes, des dimensions, et une foule de détails dont il est impossible de se passer, dès que l'on veut établir ou modifier quelque partie d'usine.

Ces ouvrages laissent donc une importante lacune entre la théorie et la pratique, lacune que l'on essaie de remplir ici, au moins pour les choses essentielles, et surtout pour celles qui se rattachent à quelques principes.

On ne s'est pas proposé de faire un traité, c'est-à-dire d'embrasser et de discuter tout ce qui a été fait en sydérurgie, mais seulement d'offrir un *résumé méthodique et concis* de ce qui se pratique actuellement, soit pour la conduite des opérations, soit pour l'établissement des machines et appareils, en s'appuyant sur les principes théoriques reçus, et principalement sur des données d'expérience.

L'ouvrage, tant pour le Texte que pour l'Atlas, se divise en deux parties, l'une relative aux hauts-fourneaux ou à la production de la fonte, l'autre relative aux forges ou à la production du fer forgé.

Le Texte comprend : la description générale des appareils et machines, avec l'indication des principes et des résultats d'expérience qui peuvent guider dans leur établissement et leur emploi; la description des diverses opérations, en faisant connaître leur but, les moyens d'exécution, les données économiques relatives aux consommations et produits, et les élémens de tous les frais de fabrication nécessaires pour établir le prix de revient des matières fabriquées.

On s'est attaché à rassembler dans un même chapitre, ou section, tout ce qui concerne les mêmes appareils et machines, ou les mêmes opérations, afin d'en mieux faire apercevoir l'ensemble, et de rompre le moins possible la liaison naturelle des idées. Enfin, tout ce travail est résumé, section par section, dans une table analytique des matières, où l'on peut, en quelque sorte, saisir d'un coup d'œil l'ensemble et tous les détails du sujet.

L'Atlas renferme non seulement les ensembles des machines et appareils mentionnés dans le Texte, mais encore tous les détails, dessinés à une assez grande échelle pour servir à la construction.

On s'est imposé l'obligation de ne reproduire que des choses exécutées, actuellement employées, et sanctionnées par l'expérience, en choisissant autant que possible, dans chaque genre, ce que l'on a trouvé de mieux.

Afin de ne pas embarrasser le Texte d'une foule de détails qui auraient nui à sa clarté et à sa concision, on a donné à part une description ou légende raisonnée des Planches, dans laquelle on fait connaître toutes les parties des appareils et machines, leur liaison, leur usage, leur tracé, et la nature des matériaux employés à leur confection.

Dans l'exécution de ce plan, on s'est étendu principalement sur tout ce qui concerne la fabrication de la fonte; car cette partie de la métallurgie du fer est encore aujourd'hui celle qui réclame le plus d'améliorations, soit sous le rapport de la qualité des produits, soit sous le rapport de l'économie. Ainsi, il est peu d'usines françaises qui produisent régulièrement de la fonte au coke parfaitement propre au moulage, et dans aucune on n'est encore parvenu à fabriquer cette matière, aujourd'hui si essentielle à l'industrie, à des prix aussi bas que ceux des usines d'Angleterre.

Nos fontes de forge coùtent également trop cher, et leur prix, réagissant sur la production du fer, maintient ce genre de produit à un taux encore trop élevé. Enfin, dans un très grand nombre d'usines, ces fontes sont loin d'avoir les qualités nécessaires pour produire de bons fers, même lorsqu'elles sont fabriquées au charbon de bois.

L'amélioration principale et la plus essentielle, sous ce dernier rapport, est de faire un choix de bons minerais, d'éviter surtout l'emploi des minerais phosphoreux, et de faire subir à ces matières les préparations convenables pour les rendre aussi pures que possible. Sans doute il en coûtera un peu plus, mais les maîtres de forges y trouveront un ample dédommage-

ment dans la marche plus régulière et plus économique des hauts-fourneaux, dans la meilleure qualité de la fonte, dans de moindres déchets à l'affinage, et enfin dans la production d'un meilleur fer.

L'un des moyens d'économie le plus généralement applicable, c'est l'accroissement de fabrication de la fonte dans les hauts-fourneaux; car la diminution relative des frais généraux assurerait aux maîtres de forges de plus forts bénéfices, tout en leur permettant quelque réduction sur le prix de la matière fabriquée.

Cet accroissement peut s'opérer soit en travaillant à l'air froid, soit en travaillant à l'air chaud.

Pour atteindre ce but par le premier mode, il n'y a, dans la plupart des usines, qu'à augmenter la quantité d'air lancée dans les fourneaux, en changeant ou améliorant les machines soufflantes; et il est surtout peu de fourneaux au charbon de bois, en France, qui ne dussent recevoir de moitié au double de la quantité d'air qu'ils reçoivent actuellement. En restant dans des limites convenables, on accroîtrait, en général, le rendement des minerais, on améliorerait la qualité de la fonte, et, dans le plus grand nombre de cas, il y aurait économie dans la consommation de combustible par tonne de fonte (1).

On objectera avec raison que, malgré cette économie relative, la consommation totale n'en sera pas moins augmentée à peu près en raison de l'accroissement des produits, et que le charbon de bois, déjà très cher, le deviendrait plus encore;

(1) 1 tonne fait 1,000 kilogr.

mais on verra bientôt que le surplus de la consommation peut être fourni par la substitution de la houille au charbon dans la fabrication du fer, et qu'ainsi, dans le cas le plus défavorable, rien ne serait changé dans le prix des bois.

L'emploi de l'air chauffé pour alimenter les hauts-fourneaux augmente, en général, les produits, en économisant le combustible, ou procure au moins l'un de ces deux avantages; mais il paraît, d'après des observations déjà assez multipliées, qu'il faut, dans son application, avoir égard à la nature des minerais, et que, dans certains cas, les fontes à l'air chaud sont plus difficiles à affiner, et produisent de moins bon fer. On a donné quelques développemens à ce sujet dans la XI[e] section de la I[re] Partie de cet ouvrage, et dans l'avant-dernière section de la II[e] Partie.

La plus grande difficulté que présentait l'accroissement de produits par l'augmentation du vent, et que l'on ne peut toujours éviter par l'emploi de l'air chaud, c'était l'insuffisance et l'irrégularité de la force motrice, qui, pour les fourneaux au charbon de bois, est généralement fournie par des cours d'eau; mais aujourd'hui qu'il n'y a plus de doute sur la possibilité de chauffer des chaudières à vapeur par les flammes perdues du gueulard, et d'obtenir ainsi une force motrice suffisante à elle seule pour faire marcher la soufflerie d'un haut-fourneau, il est facile et pas très dispendieux d'adjoindre aux anciennes machines une machine soufflante additionnelle, mue par la vapeur, ou même de les remplacer tout-à-fait (1).

(1) Ce procédé, pour lequel MM. Thomas et Laurens, ingénieurs civils, à Paris, et anciens élèves de l'École centrale des Arts et Manufactures, ont pris un brevet d'invention

Une amélioration importante sous le rapport économique, et dont les résultats sont, en général, satisfaisans, quoique les essais n'aient pas également bien réussi partout, c'est la substitution, en tout ou en partie, du bois torréfié, ou à demi carbonisé, au charbon de bois. On a indiqué (sections II et XII, Ire Partie) les avantages constatés de ce nouveau moyen; et dans la dernière section, on a décrit l'appareil et le procédé de torréfaction.

En résumé, les améliorations pour les hauts-fourneaux, et surtout pour ceux de nos anciennes usines, doivent porter, indépendamment du choix des minerais, sur les bonnes dispositions et proportions à donner à ces appareils, sur un meilleur emploi du vent froid, ou sur l'emploi de l'air chauffé lorsqu'il n'offre pas d'inconvénient; sur l'utilisation des flammes perdues pour faire marcher des machines soufflantes ou pour chauffer l'air; enfin sur l'emploi du bois torréfié au lieu du charbon de bois.

Tout autre moyen d'économie dépend surtout de la position des usines, et dans l'établissement de nouveaux hauts-fourneaux, on ne peut apporter trop de soin à l'examen de la question de leur emplacement, question complexe, dont la solution exige des connaissances positives en économie industrielle et commerciale.

L'emplacement des usines doit satisfaire à deux conditions principales :

avec leur ancien condisciple, M. Dufournel, maître de forges à Gray, est établi à Échallonges (Haute-Saône), à Pouancé (Maine-et-Loire), à Niederbronn (Bas-Rhin), à Mutterhausen (Moselle), et donne partout de bons résultats.

1°. Il faut que les matières puissent être amenées à peu de frais au point où elles doivent s'élaborer;

2°. Les produits fabriqués doivent pouvoir être transportés avec profit chez un nombre suffisant de consommateurs.

Relativement à la première condition, les positions peuvent se classer dans l'ordre suivant :

Première classe. Positions présentant en un même lieu la réunion naturelle et en quantité suffisante des matières premières employées à la fabrication de la fonte.

De telles positions ne sont pas rares en Angleterre, où, dans plusieurs localités, les houillères fournissent à la fois le combustible et le minerai; mais en France, on n'en connaît encore qu'un petit nombre, savoir : dans le Midi, Alais (Gard), Decazeville et Firmy (Aveyron); au centre, Bourg-Lastic (Puy-de-Dôme); dans le Nord, Aniche et Valenciennes.

La position est d'autant plus avantageuse que le rayon dans lequel se trouvent les matières premières est moins étendu.

Peu de hauts-fourneaux marchant au charbon de bois sont ainsi favorisés; cependant la Normandie, la Bretagne, la Lorraine, la Bourgogne, la Franche-Comté et la Champagne, en offrent quelques exemples; mais, en général, les matières se trouvent répandues sur un plus grand espace.

Il faut, dans ce cas, choisir l'emplacement de manière que le prix moyen des transports soit le moindre possible, avoir égard à la facilité des communications, et, en général, se rapprocher le plus possible des combustibles, qui subissent des déchets d'autant plus forts qu'ils viennent de plus loin.

Ces considérations n'ont pas toujours pu être dominantes pour les fourneaux au charbon de bois, par la nécessité où l'on était de se servir de cours d'eau pour force motrice; mais au moyen de machines soufflantes marchant par la flamme du gueulard, ces fourneaux peuvent être, ainsi que les fourneaux à coke, indépendans des cours d'eau, et placés plus avantageusement. C'est ainsi qu'un haut-fourneau au charbon de bois s'élève à Thaumiers, dans un lieu éloigné de tout cours d'eau, et que l'on se propose d'établir à Vandenesse, près Pouilly (Côte-d'Or), un haut-fourneau à coke, dont la soufflerie recevra sa force motrice de la flamme perdue du gueulard.

Deuxième classe. Positions présentant en un même lieu le combustible en abondance, à bas prix, et une partie seulement des minerais nécessaires à l'alimentation des fourneaux.

Telles sont celles du Creuzot, et du Janon (près Saint-Étienne).

Le plus ou moins d'avantage de ces positions dépend de la masse des matières à transporter, du prix des transports; et des usines ainsi placées ne peuvent marcher avec profit qu'autant que les frais d'arrivage des matières qui manquent sont compensés par des débouchés faciles ou par une consommation locale.

Troisième classe. Positions présentant isolément les minerais ou les combustibles en grande abondance, à bas prix, et pouvant communiquer entre elles par des voies économiques et susceptibles d'améliorations prochaines..

Telle est celle de l'usine de Lavoulte (Ardèche), où abonde le minerai, relativement à Rive-de-Gier, où sont les houillères

qui alimentent les fourneaux. Ces deux points communiquent entre eux par le canal de Givors et le Rhône, ou par ce fleuve et le chemin de fer qui longe le canal.

Telle est encore la position de quelques usines du Nivernais, possédant des minerais en abondance, et recevant le combustible des houillères de Decize ou de Saint-Étienne, par la Loire.

Dans ce cas, tout est ramené à une question de transport, en ayant égard à la direction dans laquelle les produits doivent s'écouler.

Quatrième classe. Positions isolées de toutes les matières premières.

Le haut-fourneau de l'usine de Vienne (Isère) offre peut-être le seul exemple d'une semblable position, qui ne peut avoir quelque avantage qu'autant que la fonte est principalement employée en moulages, que les transports se font à bas prix, et que l'usine est à proximité d'une forte consommation de ses produits.

Pour l'établissement des fourneaux destinés à produire de la fonte brute, il n'y a donc de possible que les trois premières positions; et l'avantage absolu de chacune d'elles dépend de la manière dont elle satisfait à la seconde condition.

A cet égard, les avantages de la meilleure position, quant aux matières premières, peuvent être altérés ou même détruits par les difficultés d'exploitation de ces matières, par l'absence ou le mauvais état des voies de communication, et par le cercle trop restreint des débouchés. Quant à ces derniers, s'il s'agit d'une grande fabrication, la condition première de succès

est que le nombre de consommateurs soit considérable, et que les voies de communication soient tellement économiques, que le cercle de la vente puisse s'étendre sans affecter sensiblement le prix du métal.

Ces considérations générales de position ne sont pas particulières aux hauts-fourneaux, et peuvent, avec quelques légères modifications, être appliquées également aux forges.

Les améliorations à introduire dans la fabrication du fer consistent principalement, pour les anciennes forges, dans la substitution de la houille au charbon de bois, dans un meilleur emploi de la chaleur des foyers, et dans l'application de l'air chaud, soit à l'affinage, soit au réchauffage.

On a réalisé la substitution totale de la houille au charbon de bois dans le mode de travail qui a pris naissance en Champagne, et qui, sous le nom de *méthode champenoise*, s'est propagé dans les départemens des Ardennes, de la Moselle, de la Meuse, de la Nièvre, etc. C'est sur l'adoption plus ou moins entière de cette méthode, qui déjà donne de très bons résultats, mais qui est sans doute encore susceptible de perfectionnemens, que repose en quelque sorte l'avenir de nos anciennes forges; c'est d'elle surtout que dépendent l'accroissement possible de production des hauts-fourneaux, l'extension de la fabrication du fer et une plus grande célérité dans ses moyens d'exécution, enfin la majeure partie des économies qu'il est possible de réaliser.

Pour se faire une idée de l'accroissement de production par l'emploi de la houille dans les forges, il suffit de considérer que, pour fabriquer 1,000 kil. de fer, il faut généralement

1,500 kil. de charbon de bois et 1,450 kil. de fonte, et que cette quantité de fonte, à raison de 1,5 de combustible pour 1 de métal, consomme, dans le haut-fourneau, 2,175 kil. de charbon; d'où résulte que, par les anciens procédés, on emploie environ 3,675 kil. de charbon pour produire 1,000 kil. de fer forgé.

Par le procédé champenois, les 1,500 kil. de charbon devenant disponibles pour le haut-fourneau, produiront 1,000 kil. de fonte, lesquels donneront 670 kil. de fer; et comme il faut environ 1,5 de houille pour 1 de fer fini, il s'ensuit qu'avec 3,675 kil. de charbon et 2,500 kil. de houille, on fabriquera 1,670 kil. de fer en barres, ce qui accroît la production des deux tiers.

Quant à l'économie définitive, elle dépend du rapport du prix de la houille de bonne qualité à celui du charbon de bois; mais puisqu'on travaille avec avantage dans des localités où la houille revient de 3 fr. 50 c. à 4 fr. l'hectolitre (80 kil.), il doit y avoir très peu de forges anciennes qui ne puissent adopter le nouveau procédé, surtout en ayant égard à la diminution relative des frais généraux.

Dans plusieurs usines de France, de Suisse et des bords du Rhin, on a tiré parti des flammes perdues des foyers d'affinerie ou de chaufferie, pour les appliquer à l'étirage du fer et au chauffage de l'air qui alimente les foyers; d'où résulte, dans l'un ou l'autre cas, une certaine économie de combustible; enfin tout récemment, en France, on a appliqué avec succès le bois torréfié aux travaux d'affinage. On a indiqué, dans la dernière section de la Partie relative aux forges, quelques uns

des appareils employés, et les résultats des diverses améliorations.

Dans la fabrication du fer par la méthode anglaise, il n'y a guère d'autre économie à introduire que celle qui résulte de l'emploi de la chaleur perdue des fours au chauffage des chaudières à vapeur. Après plusieurs essais infructueux, tant en Angleterre qu'en France, on est parvenu à des dispositions assez satisfaisantes, mais qui paraissent cependant laisser encore quelque chose à désirer, eu égard au travail des fours.

L'obligation que l'on s'est imposée de ne publier que les machines et appareils sanctionnés par l'expérience, dans le but d'épargner aux maîtres de forges des dépenses improductives, n'a pas permis de présenter dans cet ouvrage tous les moyens d'exécution ou d'économie tentés avec plus ou moins de succès depuis quelques années; mais on se propose de les publier, comme appendice, à mesure que les nouvelles dispositions d'appareils ou de machines auront été reconnues satisfaisantes.

MÉTALLURGIE PRATIQUE
DU FER.

PREMIÈRE PARTIE.

FABRICATION DE LA FONTE.

SECTION I.

MATIÈRES PREMIÈRES.

MINERAIS DE FER.

Le fer, tel que la nature l'a produit en immense quantité, est bien différent de celui dont l'aspect et l'usage nous sont si familiers. Ce n'est presque partout qu'une rouille mélangée à différentes substances terreuses, et lors même que le fer se présente dans la mine avec l'éclat métallique, il est encore très éloigné d'avoir les qualités qu'exigent les services qu'il nous rend.

Le fer se trouve dans le sein de la terre ou à sa surface, sous un grand nombre d'états différens. Les mines les plus communes sont celles qui le contiennent à l'état *d'oxide*, c'est-à-dire combiné avec l'oxigène; il abonde également à l'état de *sulfure* ou combiné avec le soufre. Enfin, on le trouve aussi à l'état *natif*; mais ce fer malléable, naturel, est très rare et tout-à-fait accidentel.

Toutes les substances dans lesquelles se trouve le fer, même en assez grande quantité, ne sont pas également propres à produire ce métal, et le

1

métallurgiste ne donne le nom de *mine* ou *minerai* de fer qu'à celles qui, dans les opérations en grand, peuvent être traitées avec avantage pour en retirer le fer qu'elles contiennent.

Considérés sous ce point de vue, les minerais de fer se réduisent aux six espèces suivantes : 1°. le fer oxidulé ; 2°. le fer oligiste ; 3°. le fer peroxidé ; 4°. le fer oxidé hydraté ; 5°. le fer carbonaté ; 6°. le fer siliceux.

Nous allons faire connaître les caractères de ces espèces, dont chacune se forme des minerais qui ont un état de composition semblable et qui exigent à peu près les mêmes procédés pour produire le fer.

I. *Fer oxidulé.*

Ce minerai, que l'on nomme aussi *fer magnétique*, a une forte action sur le barreau aimanté, sans qu'on ait besoin de le chauffer. Il est d'un noir brillant ; sa cassure est conchoïde ou ondulée ; sa poussière est d'un noir pur ou d'un brun très foncé.

On le trouve dans les terrains primitifs, en filons, en couches, en masses, en fragmens ; enfin, en grains peu volumineux, irréguliers et formant la presque totalité de certains sables.

Ce minerai, qui est très rare en France, où il n'est l'objet d'aucune exploitation, se trouve abondamment dans plusieurs parties de la Sibérie, de la Laponie, de la Suède, où il se présente en masses considérables, formant quelquefois des montagnes entières. Il abonde aussi dans certaines parties du Brésil, de l'Inde, de la Chine, etc.

On l'exploite encore dans le royaume de Naples, sur les bords de la mer, où il se présente, en sable, presque entièrement composé de fer oxidulé noir.

Ces minerais résultent de la combinaison du fer avec une faible portion d'oxigène et d'une petite quantité de silice. Ils contiennent de 80 à 90 pour 100 de fer, se traitent avec la plus grande facilité, et produisent la meilleure qualité de fer connue.

En Suède, ils sont l'objet de plusieurs exploitations importantes, et les fers qui en proviennent jouissent à juste titre d'une grande réputation dans le commerce : aussi sont-ils presque exclusivement employés par les Anglais pour fabriquer leurs aciers de première qualité.

II. *Fer oligiste.*

Ce minerai n'a presque pas d'action sur le barreau aimanté, et n'attire pas du tout la limaille de fer, ce qui le distingue parfaitement de l'espèce précédente. Sa couleur est le gris noir ou le gris d'acier, dont il possède quelquefois l'éclat métallique. Sa cassure est fibreuse, divergente et quelquefois lamelleuse. Sa raclure ou sa poussière est d'un rouge brun assez foncé. Il raie le verre, et s'écrase difficilement.

Il se présente en masses compactes, forme des couches très puissantes et même des montagnes entières dans les fissures ou cavités desquelles on trouve ces cristaux de forme rhomboïdale, d'un brillant d'acier bruni, si connus sous le nom de fer de l'île d'Elbe.

Les exploitations de l'île d'Elbe sont les plus considérables de cette espèce, et ce sont elles qui alimentent les usines de Toscane, des États romains, de la Ligurie et du royaume de Naples.

Le fer oligiste est assez rare en France, et on ne l'exploite jusqu'à présent qu'à Framont, dans les Vosges. On le trouve également en Piémont, au val d'Aoste et au val d'Arbonne, en fragmens plus ou moins considérables; en Corse, en Saxe, en Bohême, en Hongrie, en Suède et en Sibérie. Partout où il se rencontre en quantité suffisante, on l'exploite et on le traite avec le plus grand avantage; le fer qui en provient diffère peu en qualité de celui qu'on retire des minerais oxidulés.

Le fer oligiste se présente aussi sous forme *arénacée*, c'est-à-dire en sable ferrugineux. On le trouve à cet état sur les bords de la mer, dans l'île d'Elbe, et il est livré, sous le nom de *poulette*, aux usines du continent d'Italie.

Ce minerai se compose de fer oxidé et d'oxidule; il contient ordinairement de la chaux, de la silice, de l'alumine et très rarement de l'oxide de manganèse.

Les minerais en roche ou en fragmens rendent 60 à 80 pour 100 de fer, et les minerais arenacés, 45 à 50.

III. *Fer peroxidé, ou Fer oxidé rouge.*

Cette espèce comprend tous les minerais de fer dont la poussière ou la raclure est rouge, quelle que soit d'ailleurs la couleur qu'ils présentent à leur surface ou dans leur cassure. Ce caractère suffit pour les distinguer de tous

les autres minerais, et ils diffèrent en outre des précédens, en ce qu'ils n'agissent jamais sur l'aiguille aimantée avant d'avoir été grillés, c'est-à-dire avant d'avoir subi l'action du feu. Le grillage ne leur donne même cette propriété que très rarement.

Les variétés qu'on exploite comme minerais sont :

1°. *Le fer oxidé rouge, hématite.* Sa couleur varie du rouge brun au rouge violacé; sa forme extérieure est assez souvent mamelonnée, concrétionnée, ou sous les figures de petites stalactites, et présente une espèce de brillant métallique. Sa cassure est quelquefois lisse, assez souvent fibreuse et rayonnée. Sa poussière est d'un rouge sombre.

En France, on exploite ce minerai à Baigorry dans les Basses-Pyrénées, et à Framont dans les Vosges. Il forme des exploitations assez considérables en Allemagne, au Hartz, en Silésie, en Angleterre, etc.

Il contient de la silice, un peu d'alumine et de chaux, et rend jusqu'à 60 de fer pour 100.

2°. *Fer oxidé rouge, compacte.* La couleur de ce minerai varie du gris d'acier au rouge foncé et légèrement violacé. Dans le premier cas, sa cassure est métalloïde, c'est-à-dire d'un aspect métallique plus ou moins brillant, lisse ou peu grenue; ondulée, conchoïde ou irrégulière. Dans le second cas, elle est terne ou terreuse, grenue, et plus souvent unie qu'ondulée. Ce minerai est compacte, assez difficile à briser, et la plupart des échantillons métalloïdes étincellent sous le briquet.

On trouve ce minerai en France dans les départemens de l'Ardèche, de l'Allier, de l'Aveyron, du Gard, du Haut-Rhin, de la Haute-Saône, de la Haute-Loire, de la Moselle, de la Sarthe, etc. On l'exploite aussi dans le duché de Luxembourg, en Allemagne, en Styrie, en Angleterre, etc.

Il se présente en blocs, en masses plus ou moins considérables, en filons ou en couches, d'une grande étendue et d'une forte épaisseur.

Le plus beau gîte de ce minerai existe en France, près de la petite ville de Lavoulte (Ardèche), sur la rive droite du Rhône, où il fait l'objet d'une exploitation considérable. L'épaisseur des couches superposées et contenant toutes des substances ferrifères varie de 15 à 20 mètres.

Cette variété est très riche, et rend jusqu'à 70 pour 100 de fer d'assez bonne qualité.

Les échantillons métalloïdes contiennent de la silice et un peu d'alumine; les autres contiennent de la silice, de l'alumine, un peu de chaux, et souvent une petite quantité d'oxide de manganèse.

3°. *Fer oxidé rouge, ocreux ou tendre.* Ce minerai est d'un rouge vif, son aspect est terne et terreux, il est très friable, doux au toucher, tache fortement les doigts en rouge, et trace sur le papier; sa structure est ordinairement feuilletée et quelquefois oolitique, c'est-à-dire que sa cassure présente une foule de petits globules brillans et agglutinés entre eux. Ce minerai accompagne ordinairement les précédens, dans lesquels il est mélangé par couches d'une assez faible épaisseur. Dans le département de l'Ain, aux environs de Lagneux, on le trouve à l'état oolitique, en masses considérables. On le traite avec les autres oxides rouges, et il contribue à bonifier les produits.

Il contient de l'alumine en assez grande quantité, de la chaux et de la silice, et rend de 35 à 45 pour 100 de fer.

IV. *Fer oxidé hydraté.*

Le caractère constant de cette espèce de minerais est de présenter une poussière jaunâtre, tantôt assez claire, tantôt passant au brun. Ils n'ont aucune action sur le barreau aimanté, soit avant, soit après le grillage. On leur donne le nom d'*hydrates,* parce qu'ils contiennent l'eau à l'état de combinaison dans des proportions qui varient de 8 à 15 pour 100.

Les variétés exploitées sont :

1°. *Le fer hydraté brun* ou *hématite brune.* Un peu moins dur que l'hématite rouge, donnant une poussière brune, offrant une espèce de vernis noir luisant ou irisé à sa surface, mais ayant, du reste, la même structure fibreuse que l'hématite rouge. Il est beaucoup plus commun en France que ce dernier minerai, et il accompagne très souvent le fer carbonaté spathique. On l'exploite à Articole en Dauphiné, à Rancié et Vicdessos dans l'Ariége, et dans les Pyrénées. On a découvert tout récemment, près de Lavoulte (Ardèche), un gîte assez considérable de ce minerai, qui se présente en masses caverneuses, dans lesquelles se trouve aussi la variété suivante.

2°. *Fer hydraté compacte.* Sa couleur est d'un brun foncé, mais sa poussière est constamment jaune; sa texture est compacte et jamais fibreuse. Il a du reste tous les caractères de la précédente variété.

Les fers hydraté hématite et compacte reposent ordinairement, mais non exclusivement, sur les terrains primitifs, et contiennent de la silice, de l'alumine et quelquefois un peu de magnésie.

On y rencontre aussi, et surtout dans ceux du gîte de Lavoulte, des sulfates et des sulfures de fer.

Ils produisent 40 à 50 pour 100 d'un fer d'assez bonne qualité.

3°. *Fer hydraté oolite*. Couleur variant du brun au jaune, présentant une foule de petits globules liés entre eux par un ciment calcaire. Ce minerai se trouve en masses considérables et en couches dans les terrains calcaires. Le gîte le plus important est situé dans le département de l'Ain, aux environs de Villebois, sur la rive droite du Rhône.

La richesse de ce minerai varie de 30 à 40 pour 100. Le fer qui en provient est d'une qualité assez médiocre, que l'on attribue surtout à la présence du phosphore provenant des coquilles fossiles qu'il renferme assez fréquemment.

4°. *Fer hydraté granuleux*, ou *mine de fer en grains*. Cette espèce comprend les minerais globuliformes et pulvérulens que l'on exploite sous la terre végétale, dans les bancs d'argile, sous les couches de sable et quelquefois entre des couches calcaires. Leur couleur varie du noir brun au jaune.

Tous contiennent de la silice, de la chaux, de l'alumine et quelquefois de l'oxide de manganèse.

Cette espèce, qui comprend de nombreuses sous-variétés, est très commune en France. On les exploite dans les départemens des Ardennes, de l'Indre, de la Mayenne, de la Côte-d'Or, de la Haute-Saône, du Doubs, de la Haute-Marne, de la Meuse, du Haut-Rhin, de Saône-et-Loire, dans le Berry, dans la Normandie, etc. Ils abondent également en Suisse, en Souabe, en Silésie, en Bavière, dans plusieurs localités de l'Allemagne, en Pologne, etc.

Ces minerais donnent des fers de diverses qualités. Dans le Doubs, le Haut-Rhin et le Berry, on en obtient de très bons; mais dans la plupart des autres localités, les fers qui en proviennent sont de moindre qualité, à cause de la présence du phosphore dans les mines.

La teneur de ces minerais varie beaucoup; le plus ordinairement elle est de 25 à 40 pour 100, mais il en est qui rendent jusqu'à 60 pour 100 de fer.

5°. *Fer hydraté limoneux*, ou *mine des marais*. Ce minerai, d'un brun jaunâtre approchant de la couleur de rouille, n'est jamais compacte, ou ne l'est que dans quelques unes de ses parties seulement. Il se présente assez généralement sous la forme de masses tuberculeuses tout-à-fait irrégulières,

et sa structure interne offre souvent une multitude de cavités ou de zônes sinueuses.

Les hydrates limoneux contiennent du peroxide de fer, du protoxide, de l'oxide de manganèse, de la chaux, de la silice, de l'alumine, de la magnésie et de l'acide phosphorique.

Ces minerais sont peu exploités en France, et se trouvent principalement dans les marais du nord de l'Europe, en Sibérie, en Courlande, en Livonie, etc., etc.

Ils produisent de 35 à 55 pour 100 de fer ordinairement cassant à cause de la présence du phosphore.

V. *Fer carbonaté.*

Cette espèce renferme les trois variétés suivantes :

1°. *Fer spathique blanc.* Structure lamelleuse, aspect brillant assez semblable à celui de la chaux carbonatée cristallisée; couleur blanc grisâtre ou jaune isabelle en sortant de la mine. Ce minerai, par une longue exposition à l'air, passe au brun marron, et il éprouve le même changement quand il subit l'action du feu, en même temps qu'il devient fortement attirable à l'aimant.

Il est composé d'oxide de fer au minimum ou protoxide de fer et d'acide carbonique, mais il contient toujours de la chaux, de la baryte, de l'oxide de manganèse et de la magnésie, qui font varier ses qualités et modifient quelquefois son traitement. La silice s'y rencontre aussi accidentellement.

2°. *Fer spathique brun*, ou *mine douce.* Ce minerai provient d'une décomposition de la variété précédente, dont il conserve la structure, tout en prenant l'espect terreux. Sa couleur et celle de sa poussière est le brun de chocolat. Sa composition est la même que celle du minerai spathique blanc, seulement le fer a abandonné l'acide carbonique pour se combiner avec l'oxigène. Il est plus fusible que le précédent, et de là vient le nom de *mine douce* que les ouvriers lui ont donné.

Les mines douces ne diffèrent des fers bruns ordinaires qu'en ce qu'elles contiennent du carbonate de baryte, du carbonate de chaux et un peu d'oxide de manganèse, que l'on ne rencontre jamais dans les derniers.

Les minerais spathiques se trouvent en masses compactes, en filons puissans, dans les terrains primitifs. En France on l'exploite à Baigorry, dans les Pyrénées; à Allevard, à Vizille et quelques autres localités du départe-

ment de l'Isère. En Styrie, en Carinthie, ce minerai se présente en filons très puissans, et forme même des montagnes entières.

Les fers spathiques rendent de 35 à 45 pour 100 de fer de très bonne qualité, aciéreux ou mélangé de veines d'acier. Ils produisent même l'acier naturel avec une grande facilité, d'où leur vient aussi le nom de *mines d'acier*.

Ces minerais sont généralement faciles à fondre, et on les traite ordinairement par la méthode dite *catalane*, au moyen de laquelle on obtient le fer malléable en une seule opération.

3°. *Fer carbonaté lithoïde*. Ce minerai ressemble tantôt à des calcaires compactes, tantôt à des argiles grisâtres et très dures. Sa pesanteur spécifique considérable le fait facilement distinguer de ces minéraux avec lesquels il se confond par sa couleur, qui passe du gris au gris noirâtre lorsqu'il est pénétré de bitume. Sa poussière est grise, sa cassure unie ou conchoïde. Exposé au feu, il devient rouge ou rouge brun, et attire alors fortement l'aiguille aimantée.

On le trouve constamment en couches ou en masses isolées dans les terrains houillers, au milieu des grés psammites, des argiles schisteuses ou de la houille elle-même; il renferme souvent des empreintes de fougères ou de coquilles.

A Lavoulte (Ardèche), on le trouve en petites couches ou en rognons sphéroïdes dans les masses d'oxide rouge. Sa surface est rouge ou d'un roux plus ou moins foncé; mais cette couleur diminue en approchant du centre, occupé par un noyau de fer lithoïde gris.

Ce minerai, qui alimente la plus grande partie des usines d'Angleterre, n'est utilisé que depuis peu de temps en France, où il existe cependant en très grande abondance dans les départemens du Nord, de la Loire, de l'Allier, de la Haute-Loire, du Gard et de l'Aveyron.

Il contient de l'oxide de manganèse, de la magnésie, de la chaux, de la silicie et de l'alumine, et rend 30 à 45 pour 100 de fer d'assez bonne qualité.

VI. *Fer siliceux.*

Les fers siliceux, ou *silicates de fer*, forment une espèce de minerais encore peu connus, et parmi lesquels plusieurs sont assez riches et assez abondans pour devenir l'objet d'une exploitation; d'autres peuvent être mélangés avec avantage aux espèces précédentes pour en augmenter la fusibilité et accroître les produits.

Ces minerais contiennent le fer à l'état d'oxidule, et alors ils ont une couleur bleue ou verdâtre plus ou moins foncée; ou bien ils le contiennent à l'état de peroxide, et leur couleur est rouge ou jaunâtre.

Les minerais verts et bleus, ou silicates d'oxidule, deviennent presque tous magnétiques après le grillage; quelques uns le sont même avant d'avoir subi cette opération. Les minerais rouges et jaunes, ou silicates d'oxide, ne le sont ni avant ni après le grillage.

Parmi les substances de cette espèce, on peut employer comme minerais, ou comme matières propres à rendre les autres minerais plus fusibles, le chamoisite, l'hisingérite, le chlorite, le pistacite, tous les amphiboles, tous les pyroxènes, les ilvaïtes, les hédenbergites, les lièvrites, les pyrosmalites, les grenats ferrugineux, ceux des basaltes qui sont chargés de beaucoup d'oxidule de fer; le fer siliceux du Kupferrath, près Düren; le cronstetite et les jaspes.

Tous ces minerais contiennent d'assez fortes proportions de silice et d'alumine, et assez souvent un peu d'oxide de manganèse. Ils sont pour la plupart très fusibles, et rendent de 15 à 45 pour 100 de fer.

Déjà quelques uns d'entre eux sont employés avec succès.

Aux forges d'Ardon on traite le chamoisite, qui est vert, très fusible, magnétique avant et après le grillage, et qui rend 45 pour 100 d'excellent fer.

A Lendersdorf on traite le fer siliceux de Kupferrath; et dans la principauté de Henneberg, aux environs de Suhl, on traite un grenat d'une couleur brun-rouge et d'une forme très régulière. Le fer qui en provient est de bonne qualité.

Les basaltes, les grenats et jaspes communs sont surtout propres à entrer dans le domaine de la métallurgie, à cause de l'abondance avec laquelle ils sont répandus dans diverses contrées. Le basalte volcanique existe en masses considérables dans les départemens du Cantal, du Puy-de-Dôme, de la Haute-Loire, de l'Ardèche, de l'Hérault, etc.; en Ecosse, aux Hébrides, en Irlande et en Allemagne. On trouve abondamment les grenats en Bohême, en Silésie, en Hongrie, en Espagne, en Corse, en Italie; et en France, dans les Alpes, les Pyrénées et beaucoup d'autres endroits. Les jaspes forment des couches ou des filons très puissans, et quelquefois des montagnes entières; on les trouve en Sicile, en Piémont, en Sibérie; et en France, dans les départemens de l'Isère et des Hautes-Alpes.

Tels sont les minerais que l'on exploite pour en retirer le fer. Le Ta-

bleau suivant présente leur classification et la récapitulation de ce que nous avons dit quant aux produits.

GENRE.	ESPÈCES.	VARIÉTÉS.	FER RÉDUIT.	OBSERVATIONS.
FER...	OXIDULÉ....	....	0,80 à 0,90	Les produits indiqués sont toujours, l'un le *minimum*, et l'autre le *maximum* de ce qu'on peut obtenir.
	OLIGISTE....	En masses.....	0,60 0,80	
		Arénacé......	0,45 0,50	
	OXIDÉ ROUGE.	Hématite......	0,40 0,60	
		Compacte......	0,50 0,70	
		Ocreux........	0,35 0,45	
	HYDRATÉ. . .	Brun..........	0,40 0,50	
		Compacte......		
		Oolite.........	0,30 0,40	
		Granuleux.....	0,25 0,40	
		Limoneux......	0,35 0,55	
	CARBONATÉ. .	Spathique blanc.	0,35 0,45	
		Spathique brun.		
		Lithoïde.......	0,30 0,45	
	SILICEUX....	Oxidulé.......	0,15 0,45	
		Oxidé.........		

ESSAI DES MINERAIS DE FER.

Avant d'exploiter un minerai, il est nécessaire de connaître la quantité de métal qu'il contient, et l'on devrait toujours s'assurer de quelle nature il est avant de l'employer en grand, afin de savoir au moins approximativement le mode de traitement qu'il convient de lui appliquer, et d'éviter des tâtonnemens souvent très dispendieux par leurs résultats.

On parvient à ces connaissances avec une exactitude suffisante pour la pratique, en soumettant les minerais à l'action des acides, et en les essayant *par la voie sèche*, c'est-à-dire, dans un creuset fortement chauffé.

Ce procédé ne fait pas, à la vérité, connaître la composition des minerais; mais pour le traitement métallurgique, il s'agit moins de savoir quels sont les composans d'un minerai et les proportions de chacun, que de déterminer celle des bases terreuses qui s'y trouve en proportion dominante.

La nature de cette base indique aussi celle des minerais; et comme la

chaux, l'alumine ou argile pure et la silice sont les principales terres qu'on y rencontre, les métallurgistes les ont divisés en minerais *calcaires, argileux ou siliceux*, pour indiquer celle de ces terres qui s'y trouve en excès.

Ces diverses natures de minerais se distinguent par les caractères suivans :

Les minerais calcaires (1) produisent, lorsqu'on y verse une goutte d'acide, une effervescence d'autant plus vive qu'ils contiennent plus de chaux. (2)

Les minerais argileux ou alumineux sont doux ou savonneux au toucher, happent à la langue d'autant plus fortement qu'ils contiennent plus d'argile, et ne font effervescence qu'autant qu'ils renferment de la chaux.

Les minerais siliceux étant pulvérisés, sont âpres au toucher comme le sable ou le verre pilé, et ne font pas effervescence avec les acides, à moins qu'ils ne contiennent une certaine quantité de chaux.

Ces caractères sont rarement bien tranchés; mais avec un peu d'habitude et en prenant pour terme de comparaison des substances calcaires, siliceuses ou argileuses pures, on reconnait assez facilement celle qui domine.

Ces indications suffisent en général pour guider dans le mode de traitement qu'il convient d'appliquer aux divers minerais.

Il est surtout important de reconnaitre si une mine de fer contient du phosphore, et l'on y parvient facilement, en opérant ainsi qu'il suit : après avoir pulvérisé une certaine quantité de minerai, on le met dans une fiole de verre, et on y ajoute de l'acide sulfurique de manière à former un mélange un peu liquide. On place la fiole sur des cendres chaudes ou sur un bain de sable, jusqu'à ce que l'acide ait bouilli au moins pendant un quart d'heure. On étend la liqueur avec trois ou quatre fois son volume d'eau pure, puis on filtre. Si la mine contient du phosphore, la liqueur se trouble, et il se rassemble peu à peu au fond du vase une poudre blanche qui n'est autre chose que du phosphore combiné avec du fer. Dans ce cas, le fer ré-

(1) Les minerais carbonatés font également effervescence, lors même qu'ils ne contiennent ni carbonate de chaux ni autres carbonates terreux; ainsi l'essai par un acide n'indique plus la nature du minerai. Mais les variétés de cette espèce sont faciles à distinguer des autres minerais; et parmi ces variétés, les fers spathiques forment une classe à part, et les carbonatés lithoïdes peuvent, en général, être considérés comme argileux.

(2) On peut faire usage d'un acide quelconque; mais on se sert ordinairement de l'acide nitrique.

sultant de l'exploitation de cette mine sera cassant à froid; mais si la liqueur, après plusieurs jours, ne se trouble pas et ne donne pas de matière blanche au fond du vase, la mine est de bonne nature, et le fer qui en proviendra sera doux.

Quant à la présence du soufre, on la reconnait quelquefois par de petits cristaux ou de petites paillettes de sulfure de fer dont la couleur est le jaune doré; d'autres fois par les couleurs irisées que présentent les cassures, et dans tous les cas, à défaut de ces indices, comme lorsqu'ils existent, par l'odeur du soufre brûlé que répand le minerai lorsqu'on l'expose au feu.

Pour rendre l'opération par la voie sèche aussi exacte que possible, il faut d'abord *lotir* le minerai, c'est-à-dire prendre des échantillons dans toutes les parties des tas, afin d'avoir un mélange qui représente à peu près la richesse moyenne du minerai. Il faut ensuite le dégager de tout ce qui peut jeter quelque incertitude sur les résultats.

A cet effet, il doit être préalablement concassé et lavé s'il est nécessaire, séché à la chaleur de l'ébullition, puis ensuite calciné au rouge dans un creuset couvert. La perte par la dessiccation indique la quantité d'eau dont il était imbibé; celle qui résulte du grillage provient de l'eau combinée avec le fer et de l'acide carbonique. On tient note séparément des pertes de poids du minerai par ces deux opérations. Le but de la calcination est d'empêcher, pendant l'essai, l'effervescence occasionnée par le dégagement du gaz.

Ainsi préparé, le minerai est pulvérisé dans un mortier de fonte et passé au tamis fin dit tamis *de soie*.

Par l'essai, on se propose d'opérer, 1° la désoxidation ou la *réduction* du minerai; 2° sa fusion et la séparation du métal aussi complète que possible.

On réduit facilement le minerai par le contact ou le mélange du charbon de bois; mais la fusion et la séparation du métal s'obtiennent rarement sans l'addition de substances qui les déterminent, et que l'on nomme *flux* ou *fondans*.

Parmi ces substances, le borax est le fondant le plus énergique. Il doit être préalablement calciné ou fondu, afin d'éviter les inconvéniens du boursoufflement que la chaleur fait éprouver à celui qui est simplement cristallisé. Viennent ensuite le spath fluor ou chaux fluatée, le verre ordinaire, et la chaux carbonatée pure, c'est-à-dire cristallisée, ou à l'état de marbre blanc: assez ordinairement, un de ces derniers fondans est ajouté au borax.

Les minerais riches se traitent avantageusement avec addition de 0,10 ou

10 pour 100 de chaux fluatée ou de chaux carbonatée pure, et dose égale de borax calciné. Cette composition de flux est applicable aux minerais oxidulés, aux oxides rouges hématites et compactes.

Les minerais siliceux se réduisent bien avec addition de 0,25 de chaux fluatée et 0,25 de chaux carbonatée. Quelquefois cette dernière seule suffit. Ce flux convient aussi aux oxides rouges métalloïdes, tels que ceux de Lavoulte (Ardèche). En cas d'insuffisance, on peut ajouter 0,10 de borax.

Lorsque les minerais contiennent une plus grande quantité de terres, leur flux peut se composer de 0,10 de borax, 0,20 de chaux fluatée et 0,20 de chaux carbonatée, ou encore 0,10 de borax, 0,10 de verre pilé et 0,25 de chaux carbonatée. Ces flux conviennent aux hématites tendres, aux hydratés hématites, compactes et oolitiques.

Pour les minerais hydratés, granuleux et limoneux, on peut employer un flux composé de 0,10 de borax, 0,25 de chaux fluatée et 0,25 de chaux carbonatée. Si ces minerais contiennent beaucoup de chaux ou beaucoup d'alumine et peu de silice, on emploiera 0,25 de verre pilé et autant de spath fluor.

Les carbonatés spathiques se réduisent très bien avec addition de 0,20 à 0,25 de borax, et ce flux suffit en général pour tous les minerais facilement fusibles.

Pour les carbonatés lithoïdes, qui sont ordinairement assez argileux, on emploie avec avantage les flux suivans : carbonate de chaux 0,50, verre pilé 0,25; ou bien, chaux carbonatée 0,50, borax 0,50; ou encore, borax 0,10, chaux carbonatée 0,25, verre pilé 0,25.

Ces diverses compositions de fondans ne doivent pas être considérées comme invariables, mais seulement comme des indications des proportions qui peuvent convenir aux diverses espèces de minerais. A défaut de borax calciné, on peut le remplacer par quantité à peu près égale de verre pilé; mais cependant la réduction ne se fait pas aussi complétement.

Ces matières, ainsi que le charbon de bois, doivent être pulvérisées et tamisées comme le minerai.

On humecte légèrement la poussière de charbon avec de l'eau pure, à laquelle on ajoute quelquefois un peu de gomme, pour qu'elle prenne consistance et puisse être comprimée. Ainsi préparée, elle prend le nom de *brasque*. On en remplit un creuset de graphyte ou de terre réfractaire, et on l'y comprime fortement. Puis, au moyen d'une spatule, on creuse dans la

brasque une cavité pour recevoir le mélange à fondre. Un creuset ainsi disposé s'appelle un creuset *brasqué*.

La quantité de minerai sur laquelle on opère peut varier de 10 à 20 grammes; mais assez rarement on opère sur plus de 10 grammes dans un creuset brasqué.

Après avoir pesé bien exactement le minerai et les fondans, on les mêle parfaitement, et l'on en fait une pâte un peu dure avec de l'huile d'olive. On met le tout dans le creuset, et on achève de remplir la cavité avec du charbon bien comprimé. On recouvre le creuset d'un couvert luté avec de l'argile, ou simplement d'une couche d'argile un peu épaisse, et on le place soit devant la tuyère d'un foyer de forge, soit dans un fourneau d'essai. Après demi-heure ou trois quarts d'heure d'un feu soutenu à une température d'autant plus élevée que le minerai soumis à l'essai a présenté plus de dureté et plus de difficulté pour être réduit en poussière, l'opération est ordinairement terminée; et l'on trouve au fond du crèuset un ou plusieurs globules d'un métal qui est de la *fonte de fer*, et des matières vitrifiées, que l'on nomme *laitiers*, provenant des terres que contenait le minerai et du flux ajouté.

Le caractère d'un bon essai est que le métal ne forme qu'un seul globule, que l'on nomme alors *culot*; que le laitier soit bien vitreux et qu'il ne soit pas noir, parce qu'alors il aurait dissous une trop grande quantité d'oxide de fer, et diminué le produit métallique. Cet inconvénient se présente surtout lorsque la silice domine dans le mélange, et alors il faut répéter l'essai en dosant un peu plus en chaux.

L'opération achevée, on sépare bien le culot des laitiers qui pourraient y adhérer, et on le pèse pour établir le rapport qui existe entre son poids et celui du minerai employé.

La fonte que l'on obtient est *blanche*, *grise* ou *truitée*. Dans le premier cas, sa cassure est d'un blanc argentin, présentant souvent des facettes brillantes; dans le second cas, elle est terne et d'une teinte variant du gris clair au gris-noir; dans le troisième cas, elle présente tantôt un fond blanc, tacheté de gris, et la fonte est dite *truitée blanche*; tantôt un fond gris, tacheté de blanc, ou d'un gris plus clair, et la fonte est dite *truitée grise*.

En général, la fonte est d'autant plus grise que la température est plus élevée et soutenue. Une faible chaleur donne de la fonte blanche et des laitiers chargés de métal disséminé en très petits globules. Ce dernier résultat

peut provenir aussi de ce que le mélange du minerai et des fondans n'est pas assez fusible, et alors il faut varier les proportions du flux.

Quelques métallurgistes font entrer dans la composition du flux les alcalis, le sel marin et les cendres d'os; mais il est aujourd'hui bien reconnu que ces substances ne doivent pas être employées, parce qu'elles altèrent l'exactitude des résultats. Les alcalis et le sel marin occasionnent une plus grande dissolution d'oxide par le laitier, et diminuent le produit. Les cendres d'os augmentent au contraire le poids du culot, à cause du phosphore qu'elles contiennent.

Les essais peuvent aussi se faire dans un creuset non brasqué. Dans ce cas, on ajoute au mélange de minerai et de fondans 20 à 25 parties de charbon pulvérisé pour 100 de minerai; on met le tout dans un creuset couvert, et l'on chauffe. Ce moyen est plus simple que le premier; mais les résultats ne sont pas toujours aussi certains, et il arrive quelquefois que le flux détermine la fusion du fond du creuset.

Lorsqu'on veut faire un essai au feu de forge, il faut, pour réussir, que les creusets soient entièrement enveloppés de combustible, que le courant d'air frappe principalement à la hauteur où se loge le culot, et que la température s'élève par degrés. Si l'on a besoin d'un fort coup de feu, il faut employer la houille, et mieux encore le charbon de houille ou coke, de préférence au charbon de bois.

PRÉPARATION DES MINERAIS.

De même que pour les essais, le minerais que l'on veut traiter en grand doivent subir certaines opérations mécaniques, soit pour les dégager autant que possible de matières étrangères ou nuisibles, soit pour les préparer à la réduction et à la fusion. Ces opérations sont le *triage*, le *lavage*, le *grillage*, le *cassage* ou *boccardage*, et la *macération* ou exposition à l'air.

Triage.

Il a pour but de séparer les minerais de leurs *gangues*, c'est-à-dire des roches de diverse nature auxquelles ils peuvent être mélangés, et qui ne contiennent pas d'oxide de fer.

Tous les minerais, excepté les variétés arénacées, granuleuses ou limoneuses, sont ordinairement soumis à cette opération, qui s'exécute au sortir de la mine, au moyen de marteaux à main de différentes formes.

Lavage.

Cette opération s'applique 1°. aux oxides terreux, c'est-à-dire aux minerais arénacés, granuleux et limoneux; 2°. à certains minerais en roche, pour les débarrasser des terres qui les souillent et sont inutiles ou même nuisibles à leur fusion.

Si les terres adhèrent peu, comme dans les minerais qui gisent dans des terrains sablonneux ou légèrement argileux, le lavage peut se faire à bras dans des bassins; si elles adhèrent fortement, comme cela a lieu pour les minerais granuleux qu'on exploite dans l'argile, il faut avoir recours au lavage mécanique; enfin, si les minerais ont une gangue trop dure pour se séparer par le seul effet de l'eau, ou s'ils sont en roche et caverneux, il faut préalablement les diviser.

Le lavage à bras se fait dans des bassins étagés, ordinairement en bois, et où l'on fait affluer de l'eau à volonté. On brasse le minerai avec des rables ou râteaux en bois, dans le bassin le plus élevé, jusqu'à ce qu'il soit bien nettoyé; les terres en suspension dans l'eau sont entraînées par la partie supérieure; les minerais, plus lourds, se déposent dans le fond. On fait ensuite passer le minerai dans un second et quelquefois dans un troisième bassin, pour achever le lavage, et cela fait, on le relève à la pelle sur les bords du bassin, pour le laisser bien égoutter.

Le lavage mécanique se fait au moyen d'une machine qu'on nomme *patouillet*, Pl. 1[re], *fig.* 1 et 2. Elle se compose d'un arbre en bois, armé de bras et de palettes en fer, et mis en mouvement par une roue hydraulique; d'une auge ou huche cylindrique en bois ou en fonte, dans laquelle agissent les bras et les palettes. A cette auge aboutit d'un côté et vers le haut un conduit qui y amène l'eau; et du même côté, à la même hauteur ou un peu plus bas, est un autre conduit destiné à l'écoulement des eaux limoneuses produites par le lavage. Une porte de fond, pratiquée dans la paroi opposée à ces conduits, établit une communication avec un bassin inférieur, qui a lui-même une vanne de décharge pour laisser écouler l'eau dans le coursier, au-delà de la roue.

Voici comment on opère : le minerai brut étant apporté près du bord de la huche, du côté opposé au bassin, on met la roue en mouvement, et on fait arriver l'eau. L'ouvrier jette alors successivement dans la huche la quantité de minerai nécessaire pour une opération. Les bras et les palettes

remuent et divisent ce minerai; l'eau, constamment affluente, se charge des parties terreuses, et s'échappe par le conduit qui lui est destiné. Après un temps plus ou moins long, selon que les minerais sont plus ou moins terreux, l'ouvrier jugeant le lavage assez avancé, il ouvre la porte de fond, et le minerai est entraîné par l'eau dans le bassin dont la vanne est fermée. Là, on le brasse pour achever le lavage; on le rassemble ensuite dans la partie supérieure du fond du bassin, on lâche les eaux, et enfin on relève le minerai sur le pourtour du bassin pour le faire égoutter.

Le rendement en minerai lavé varie naturellement suivant les lieux d'exploitation, mais le plus ordinairement il est d'un tiers à un quart du minerai brut.

Pour diviser les minerais à gangue dure, ou les minerais en roche qui sont souillés de terre, on les soumet à l'action de marteaux à bascule ou à celle des pilons d'un *boccard*. Dans ce cas, il est avantageux que cette machine soit réunie aux patouillets, comme l'indique la Pl. 1re, *fig.* 1 et 2.

Les pilons jouent dans une auge dont le fond est garni d'une plaque en fonte, et en avant des pilons se trouve une grille qui ne laisse passer que le minerai concassé. Un conduit incliné et découvert communique de l'auge à chacune des huches de patouillets, et le minerai y est entraîné par l'eau qui arrive constamment dans l'auge.

On laisse d'abord arriver dans une des huches du patouillet le minerai brut nécessaire à une opération, et pendant que ce minerai se lave, on remplit la seconde huche : par ce moyen, la préparation du miuerai marche sans interruption.

Si les minerais sont en roche, on arme le bout des pilons de sabots en fonte, afin de les rendre plus lourds. Pour les minerais terreux agglomérés, il suffit de garnir le dessous des pilons d'une plaque en fer, fixée par des clous à têtes très saillantes, afin de ne pas écraser les grains.

Pour faire marcher des patouillets et boccards réunis, disposés comme ceux de la Pl. 1re, il faut, sous une chute de 1m à 1m20, une roue hydraulique en dessous de 4m à 4m50 de diamètre, sur environ 2m de largeur.

La vitesse convenable est de 12 à 15 tours par minute pour l'arbre du patouillet, et de 20 à 30 levées dans le même temps pour chaque pilon.

Deux ouvriers sont nécessaires pour le service de boccards et patouillets réunis, indépendamment de ceux qu'il faut pour apporter ou emporter la mine, et dont le nombre dépend des distances à parcourir.

Grillage des minerais.

Le grillage ou la calcination des minerais a pour but d'enlever l'eau qu'ils contiennent, de diminuer leur cohésion, de volatiliser une partie du soufre qu'ils peuvent renfermer, et d'en chasser l'acide carbonique.

Cette opération, utile pour tous les minerais, indispensable pour un grand nombre d'entre eux, s'applique plus particulièrement aux mines en roche et à certains minerais des lacs et des marais. Pour ces derniers, qui sont ordinairement phosphatés ou imprégnés de phosphore, elle ne sert qu'à les diviser et à leur enlever l'eau dont ils sont abondamment chargés.

Pour que le grillage soit bien fait, il faut qu'il s'opère lentement, que la chaleur soit proportionnée à la nature des minerais, de manière qu'ils soient bien calcinés dans toutes leurs parties, sans que leur surface soit vitrifiée. La vitrification diminue leur fusibilité et leur produit en fonte, en augmentant la dépense de combustible; et outre que la fonte est plus difficile à affiner, elle donne un fer de moindre qualité.

L'expérience atteste, au contraire, qu'un bon grillage procure une économie de combustible sur l'ensemble des opérations, augmente le produit en fonte, améliore sa qualité, et abrége la fusion des minerais.

Le grillage se pratique en plein air, entre des murs, dans des fours à réverbère et dans des fourneaux à cuve : mais de tous ces moyens, le dernier est celui qui satisfait le mieux aux conditions de bonne préparation et d'économie, outre qu'il a seul l'avantage de rendre l'opération continue. Aussi les fourneaux à cuve sont-ils aujourd'hui généralement adoptés dans les usines à fer, et sont les seuls dont, par ce motif, on croit devoir parler ici.

Les formes et les dimensions de ces fours varient selon la nature et la quantité des minerais que l'on veut griller; ils ont tantôt la forme d'un cône tronqué ou la forme ovoïde, comme l'indique la Pl. 3; tantôt celle d'un cylindre posé sur une capacité ovoïde ou sur un cône tronqué, comme on le voit Pl. 4. Les dimensions varient de 2^{m} à 5^{m}60 pour la hauteur, de 0^{m}80 à 1^{m} de diamètre pour la base inférieure ou le *fond*, et de 1^{m}80 à 3^{m}50 de diamètre pour l'ouverture supérieure ou *gueulard*.

Les dimensions influent sensiblement sur les résultats. Dans les grands fours, le grillage est plus régulier et plus prompt, parce que le minerai est soumis à une température à la fois plus haute et mieux graduée; il est

plus économique, parce qu'il exige moins de combustible, et que la main-d'œuvre est proportionnellement moindre.

Lorsque les fours sont de grande dimension, comme ceux de Lavoulte, Pl. 3, il faut les rétrécir par le haut, pour mieux conserver la chaleur; cela est surtout nécessaire pour les minerais durs, qui, sans cela, seraient grillés imparfaitement.

Pour des minerais tendres et fusibles, pour les carbonatés spathiques et lithoïdes, les fourneaux côniques ou cylindriques conviennent mieux, parce qu'on est moins exposé à *fritter* ou vitrifier la surface du minerai.

L'opération du grillage est très simple, et peut se faire au charbon de bois, à la houille ou au bois. On peut aussi mêler à ces combustibles un quart à un cinquième en volume de débris de coke ou houille carbonisée.

Le four étant préalablement parfaitement séché, on met dans le fond du bois sec et de menus branchages, jusqu'à la hauteur de 0m50 à 0m80, en ayant soin de les tasser. Par-dessus ce bois, on forme une couche de houille menue, ou de petits charbons de bois impropres à tout autre travail, ayant environ 5 à 6 centimètres d'épaisseur. Sur cette couche, on étend un lit de minerai de même épaisseur à peu près; puis, sur le minerai, une couche légère de combustible, et on continue à stratifier ainsi les matières jusque vers la moitié de la hauteur du four. Alors on allume, et lorsque le feu commence à paraître à la couche supérieure, on continue à charger le fourneau de la même manière jusqu'au gueulard.

On retire le minerai à mesure de grillage par les ouvreaux inférieurs; et comme toute la charge s'affaisse, on alimente le four en minerai et combustible de manière à le tenir toujours plein.

Pour opérer au bois, il faut faire usage de branches, que l'on coupe en petits morceaux. On charge d'une manière analogue; seulement les couches de bois, la première exceptée, doivent avoir de 0m12 à 0m16 (4 à 6 pouces) d'épaisseur, et les couches de minerai de 0m25 à 0m30. Les minerais tendres ou fusibles peuvent se griller avec des broussailles, ou même des genêts; mais alors les couches de minerai et combustible doivent être à peu près de même épaisseur.

L'ouvrier grilleur doit veiller à ce que la descente des matières se fasse également, et à ce que l'action du feu soit uniforme. Dans le cas où cela n'aurait pas lieu, il pique avec un long ringard pointu, que l'on nomme *aiguille*, pour déterminer la descente ou appeler le feu; et si ce dernier est trop actif en quelque endroit, il couvre avec du minerai.

Au sortir du four, on passe le minerai à la claie, pour en retirer les cendres et le poussier. Une grille placée au fond du four, comme à ceux de l'usine de Pentwyn, *fig.* 8 et 9, Pl. 4, peut éviter cette opération; mais le grillage est plus difficile à conduire, à cause du tirage actif qui a lieu par la grille, et l'on fritte souvent le minerai.

Pour griller les débris de minerais argileux déliquescens, on les mêle avec ceux des autres minerais, de manière à former une pâte ferme; puis on les façonne en mottes ou en briquettes, qu'on laisse un peu sécher avant de les jeter dans les fours.

On utilise les criblures en y mélangeant un lait de chaux un peu épais, pour en former des briques, qui, lorsqu'elles sont bien séchées, peuvent entrer pour un dixième à un douzième dans la charge des fourneaux de fusion. (1)

Dans les fours ovoïdes de Lavoulte, Pl. 3, on grille moyennement 12,000 kil. de minerai oxidé rouge, compacte et tendre, par vingt-quatre heures et par four. La consommation en houille menue et débris de coke est de 4 à 4 et demi pour 100 du poids des minerais grillés. En poussant les fours un peu activement, on peut griller jusqu'à 15,000 kil., et la consommation en houille s'élève alors jusqu'à 5 pour 100.

Les mêmes minerais grillés à l'usine de Vienne (Isère), dans un four conique de moyennes dimensions, exigeaient 7 à 8 pour 100 de houille, et le produit journalier n'était que de 8 à 9,000 kil.

Dans les fours de l'usine d'Abersychan, Pl. 4, on opère sur des minerais carbonatés lithoïdes. Chacun d'eux peut griller 18 à 20,000 kil. par vingt-quatre heures, et la consommation en houille varie également de 4 à 5 pour 100.

Cinq ouvriers, dont un maître grilleur, peuvent conduire six grands fours. A Lavoulte, le prix moyen de la maind'œuvre, y compris le roulage jusqu'aux fourneaux, est de 5 centimes et demi par 100 kil. de minerai grillé.

L'emplacement le plus convenable aux fours de grillage dans une usine, est la plate-forme qui est au niveau supérieur des fourneaux de fusion. On les élève à côté de ces fourneaux ou derrière, selon que le terrain le permet; et, dans tous les cas, il est avantageux d'établir de petits chemins de fer pour le transport des minerais. (Voir, à cet égard, les Pl. 3, 4 et 8, ainsi que leurs descriptions.)

(1) Ces moyens de griller les débris et d'utiliser les criblures de minerais, ont été introduits et employés avec succès par M. Walter, à l'usine de Lavoulte.

Cassage ou boccardage.

Le cassage a pour but de diviser les minerais en roche, afin que la réduction et la fusion deviennent plus faciles et plus complètes. Les fragmens doivent être d'autant plus petits que les fourneaux de fusion sont plus bas, et leur grosseur peut varier de celle d'une noix à celle d'un œuf ordinaire. Il faut éviter de réduire les minerais en poussière, pour diminuer les déchets; toutefois on peut utiliser cette poussière de la même manière que les criblures provenant du grillage.

Le cassage se pratique après le grillage, non seulement parce que cette opération ayant affaibli la cohésion dans les minerais, ils sont concassés plus facilement, mais aussi parce que la gangue qu'ils peuvent retenir encore achève de s'en séparer, ce qui est très important pour la fusion. Sous ce rapport, le cassage est le complément essentiel du triage.

On divise les minerais avec un marteau à main, avec un pilon mu à bras d'homme, à l'aide de boccards ou de cylindres en fer, mus par une force mécanique. On doit, pour les minerais de fer, donner la préférence au travail à bras d'homme, quoique plus dispendieux, parce qu'il permet un triage plus soigné.

Macération ou exposition à l'air.

L'expérience prouve que la macération, c'est-à-dire un long séjour à l'air, facilite le traitement des minerais, en diminuant leur cohésion, et chassant une partie des substances nuisibles. Elle agit donc dans le même sens que le grillage; aussi le remplace-t-elle ordinairement pour les minerais friables et ocreux, et même pour les fers limoneux.

Cette opération n'est applicable aux minerais durs qu'après qu'ils ont subi la calcination.

Elle est utile pour tous les minerais, mais elle devient indispensable pour ceux qui sont imprégnés de pyrites ou qui contiennent du carbonate de magnésie : il en résulte une décomposition des sulfures ou des carbonates magnésiens, qui sont ensuite enlevés par l'humidité, et non seulement la fusion est plus facile, mais le fer obtenu est de meilleure qualité.

On devrait donc toujours exposer les minerais à l'humidité; mais il faudrait ensuite les conserver à couvert pendant un certain temps, ou les sécher par un moyen économique.

La macération n'a d'autre action sur les minerais phosphatés que de diminuer leur cohésion, et ne peut améliorer leur qualité.

DES FONDANS.

Il n'y a qu'un très petit nombre de minerais de fer qui, sans aucune addition, puissent être fondus en grand avec avantage, c'est-à-dire rendre un métal de bonne qualité en aussi grande quantité que le comporte sa nature, et avec la moindre quantité possible de combustible.

Pour parvenir à ces résultats, il faut, comme dans les essais, employer des *fondans,* qui sont ordinairement des substances terreuses, et quelquefois des matières vitrifiées ou *laitiers,* provenant d'opérations précédentes.

Les fondans ont pour bases la *silice,* l'*alumine,* la *chaux* et la *magnésie;* quelques uns renferment, en outre, des quantités assez notables d'oxide de fer; mais la plupart n'en contiennent que très peu, et doivent être considérés comme *matières stériles,* c'est-à-dire comme ne pouvant rien ajouter aux produits des minerais.

L'emploi des fondans repose sur ces résultats d'expérience qu'un mélange n'est fusible qu'autant qu'il renferme au moins trois des terres ci-dessus, en parties à peu près égales, en y comprenant toujours la silice; qu'en général, la magnésie diminue la fusibilité des mélanges, et ne doit jamais y entrer qu'en faibles proportions; enfin, que la silice a une très grande affinité pour le fer, et qu'employée en excès, elle se combine avec lui, et diminue les produits tout en favorisant la fusion.

Si donc un minerai ne contient pas les bases nécessaires ou en proportions convenables pour entrer en fusion, il faut le mélanger à des matières stériles, de manière à réunir ces bases ou à former les proportions voulues, en ayant surtout égard à l'influence des matières silioeuses.

Il en résulte que chaque minerai demande un fondant particulier et en dose déterminée.

A cet égard on peut, en pratique, suivre les règles ci-après :

1°. Aux minerais qui contiennent un excès de silice, soit mélangée, soit combinée avec l'oxide de fer, on ajoute, sous le nom de *castine,* une pierre calcaire plus ou moins pure, et souvent une espèce de *marne* dont la dose est proportionnée au contenu de silice. Si, avec cette dernière, ils renferment aussi de l'alumine, il est préférable d'employer de la pierre calcaire pure; si, au contraire, ils ne contiennent que de la silice, on emploiera de préférence un calcaire argileux.

2°. Aux minerais calcaires qui contiennent un excès de chaux, on ajoute, sous le nom d'*herbue*, une terre ou une pierre argileuse, ou une marne magnésienne.

3°. Aux minerais argileux, qui tous contiennent toujours une assez grande proportion de silice, il suffit d'ajouter de la pierre calcaire ou de la marne. Dans un très petit nombre de cas seulement, il est nécessaire d'ajouter du quartz ou du sable quartzeux; et il faut toujours le faire avec précaution et par petites doses. C'est dans ces cas surtout qu'il convient de faire usage des *fers siliceux*. (Voyez *Minerais*.)

Un des meilleurs moyens d'obtenir dans les fourneaux un composé convenablement fusible, consiste à mêler dans certaines proportions des minerais dont les gangues sont différentes. Ce moyen, lorsqu'il est praticable sans addition de matières stériles, offre d'autant plus d'avantages qu'il existe des minerais qui sont infusibles ou *réfractaires* pris isolément, et qui deviennent fusibles par le mélange; d'où résulte économie de combustible, de fondans, et amélioration dans les produits.

Du reste, dans l'emploi des fondans, il faut avoir égard à la nature du combustible que l'on emploie, et dont les cendres s'ajoutent aux matières stériles introduites dans les fourneaux. C'est ainsi que les alcalis et les sels alcalins contenus dans les cendres du charbon de bois doivent être considérés comme des fondans à l'égard des substances terreuses, ce qui permet de diminuer les doses de ces dernières.

Les fondans ne doivent pas être employés en trop gros fragmens, et doivent être, comme les minerais, soumis à l'opération du cassage. Ainsi concassés ils forment, avec les minerais, un mélange plus intime, et la fusion s'opère mieux et plus régulièrement. Cette opération se pratique par les mêmes moyens que pour les minerais, et les fragmens doivent avoir la même grosseur.

Essai des fondans.

Avant de commencer un fondage, on doit s'assurer de la nature du fondant nécessaire, et tâcher d'avoir quelques données approximatives sur son dosage. On y parvient au moyen d'essais par voie sèche, en opérant ainsi qu'il suit :

1°. On fait quelques essais du minerai pour connaître son rendement en fonte. (Voyez *Essai des minerais*.)

2°. On fait une suite d'essais du même minerai avec les fondans terreux,

en variant les dosages jusqu'à ce que l'on obtienne en fonte un produit moyen très approché de celui qu'ont donné les premiers essais. Ces résultats indiquent alors qu'on a trouvé l'espèce et les proportions de fondans convenables.

Toutefois ces proportions ne sont pas exactement celles qu'il faudra employer en grand; et l'on verra, en parlant du dosage des fondans, quelles sont les causes qui peuvent et doivent les modifier.

Lorsqu'au lieu d'un seul minerai, on veut en employer plusieurs à la fois, on commence par chercher quels sont les mélanges les plus fusibles ou les plus avantageux, puis on opère sur ces mélanges exactement de la manière sus-indiquée.

FUSIBILITÉ DES MINERAIS.

Il existe de grandes différences dans la fusibilité des minerais de toute espèce, et, avec quelque soin que l'on règle le dosage des fondans, il est impossible de les faire disparaître.

Il serait très important, pour disposer convenablement les appareils, et pour régler la marche des opérations, d'avoir un classement des minerais par ordre de fusibilités; mais ce classement est d'autant plus difficile à établir que les minerais ne se comportent pas de la même manière dans les essais et dans les fourneaux de fusion; et cela doit être ainsi, car, dans le premier cas, on opère sans le contact de l'air, et, dans le second, des masses d'air traversent les matières à fondre et alimentent la combustion.

Ainsi les minerais riches qui donnent peu de laitiers se fondent facilement à l'essai, et sont, au contraire, les plus difficiles à traiter dans les fourneaux de fusion. Ces minerais, que l'on nomme *minerais secs*, produisent souvent une fonte de moindre qualité, et exigent une forte proportion de combustible et de fondant.

Ces minerais peuvent donc pratiquement être classés parmi les minerais *réfractaires* ou *difficilement fusibles*. Dans cette classe sont compris le *fer oxidulé* ou *magnétique*, le *fer oligiste*, le *fer oxidé rouge hématite* et *compacte*, le *fer brun*, le *fer siliceux* pur et les *minerais alumineux*.

Pour les autres minerais, l'essai avec les fondans terreux donne des indices plus certains : ainsi, on doit regarder comme *fusibles*, les minerais qui se réduisent facilement au creuset, sans addition ou avec une très petite quantité de fondant, et donnent constamment de beaux culots de fonte, sans le secours d'une température trop haute ou trop prolongée.

Tels sont les *minerais limoneux*, à la fois très fusibles et facilement réductibles; les *fers spathiques*, qui presque toujours contiennent du manganèse; les *fers noirs*, qui sont des hydrates manganésifères; la plupart des *silicates de fer*, et grand nombre de *carbonatés lithoïdes* ou *argileux*.

Presque tous les autres minerais ne se réduisent au creuset qu'avec une assez forte proportion de fondans, et à l'aide d'une température élevée et soutenue. Ils forment la classe des minerais *moyennement fusibles*, que l'on nomme aussi *minerais à mélanges*, parce qu'ils sont composés de manière à donner soit par eux-mêmes, soit par leur gangue, une assez grande quantité de laitiers pour qu'ils puissent servir de fondant aux minerais riches, dont on retire alors d'excellent fer.

L'espèce de classification que l'on présente ici ne doit pas être considérée comme absolue, et ne l'est pas en effet, parce que ne faisant aucune distinction entre les oxides de fer souillés par la présence accidentelle de certaines substances, et les oxides combinés avec ces mêmes substances, un même minerai peut appartenir tantôt à une classe, tantôt à l'autre; mais elle peut toujours servir de guide soit dans les essais, soit dans les opérations en grand.

COMBUSTIBLES.

Les seuls combustibles employés jusqu'à présent dans le traitement des minerais de fer, sont le *bois* et la *houille* ou *charbon de terre;* mais ces combustibles ne peuvent être employés immédiatement, ou à l'*état brut*, et doivent être soumis à une préparation qui a pour but d'en séparer les substances qui nuiraient à la réduction des minerais ou à la qualité du fer.

Dans le bois, ces substances sont l'eau, l'hydrogène, les huiles, les différens gaz combinés, l'acide pyroligneux, etc.; dans les houilles, ce sont l'eau, le bitume et particulièrement le soufre contenu dans les pyrites de fer que ces combustibles renferment toujours en plus ou moins grande quantité, et qui agirait d'une manière nuisible sur la qualité du fer.

La préparation au moyen de laquelle on sépare des combustibles les substances nuisibles qu'ils contiennent, se nomme *carbonisation*, et les produits qui en proviennent prennent le nom de *charbon*, si l'on a opéré sur du bois, de *coke*, si l'on a opéré sur la houille. Cette préparation est extrêmement importante, vu l'influence que la qualité du combustible exerce sur l'économie, la régularité et les résultats du travail; mais il ne suffit pas, pour obtenir un combustible d'une qualité convenable, de bien

diriger la carbonisation, il faut encore que les combustibles bruts soient le mieux appropriés au but que l'on se propose.

Des Bois.

Tous les maîtres de forges savent que l'essence des bois, la nature et l'exposition des terrains où ils croissent, leur âge, l'époque de leur abattage, et enfin leur plus ou moins de siccité, influent non seulement sur les résultats de leur carbonisation, mais encore sur le degré de chaleur que peuvent développer les charbons qui en proviennent. On n'entrera donc dans aucun détail à cet égard (1), et on se bornera à indiquer les essences de bois qui sont employées dans les travaux métallurgiques.

On divise ordinairement ces essences en trois classes : 1°. *bois durs*, comprenant le hêtre, le chêne, le charme et l'orme; 2°. *bois tendres*, comprenant le châtaignier, le tilleul, le bouleau, l'aulne, le tremble et le peuplier; 3°. *bois résineux*, qui sont le mélèze, le pin et le sapin. Les charbons de bois durs, que l'on nomme aussi *charbons durs*, sont plus compactes, plus lourds et moins inflammables que les charbons de bois tendres ou résineux, et, à volume égal, développent une plus grande quantité de chaleur. Aussi les emploie-t-on de préférence pour la fusion des minerais de fer, réservant en général les charbons de bois tendres, ou *charbons légers*, pour la fabrication du fer ductile. Les charbons de bois résineux sont plus compactes et plus durs que les charbons de bois tendres, et servent également bien à la fusion des minerais et à la fabrication du fer.

De la Houille.

Des trois espèces de houille, connues généralement sous les noms de *houille brune*, *houille noire* et *houille éclatante* ou *anthracite*, les houilles de la seconde espèce, c'est-à-dire les houilles noires, sont les seules ordinairement employées à la fabrication du coke; mais dans ces dernières il existe plusieurs variétés, parmi lesquelles il faut faire un choix. Les unes sont très bitumineuses, et sont désignées, par cette raison, par les noms de *houilles grasses* ou *collantes;* d'autres contiennent une moindre quantité de bitume, et sont appelées *houilles maigres* ou *moyennes*; d'autres enfin

(1) On peut, à ce sujet, consulter le *Traité de l'Exploitation des Bois*, par Duhamel-Dumonceau, et le *Manuel de la Métallurgie du Fer* de Karsten, traduit par M. Culmann.

contiennent très peu de bitume, et prennent la dénomination de *houilles sèches*. Outre ces variétés principales, les seules que considère le métallurgiste, il existe d'ailleurs un grand nombre de sous-variétés entre lesquelles il est impossible d'établir une ligne de démarcation bien tracée.

Les unes et les autres peuvent être employées à la fabrication du coke; mais la nature de ce combustible varie selon les qualités de la houille employée.

A défaut de caractères bien tranchés entre ces diverses espèces de houille, il est facile de reconnaître par des essais leurs propriétés quant à la carbonisation. La houille très bitumineuse présente une cassure brillante et d'un beau noir, est en général plus friable et plus légère que les deux autres variétés; son poids varie de 44 à 45 kil. par pied cube massif. Elle brûle avec rapidité, se gonfle, se ramollit et s'agglutine de manière à ne former qu'une seule masse poreuse. Le coke qui en provient est de la meilleure qualité, brûle facilement, est léger, et laisse peu de résidus terreux ou de cendres après son entière combustion.

La houille maigre présente une cassure moins brillante ou mélangée de parties ternes, est plus dure que la précédente, brûle avec moins de facilité, s'agglutine beaucoup moins et sans presque augmenter de volume. Elle donne un coke plus compacte, mais de bonne qualité et très propre au traitement des minerais, lorsqu'il ne laisse pas trop de résidus terreux. Son poids est de 47 à 48 kil. le pied cube.

La houille sèche est plus lourde que les précédentes variétés (environ 50 kil. par pied cube), plus dure, présente une cassure assez éclatante, mais d'une couleur noire moins foncée. Elle s'enflamme difficilement, ne se gonfle pas en brûlant, et prend même un plus petit volume. Elle fournit un coke très compacte, pesant, ne brûlant qu'à une température très élevée, laissant ordinairement beaucoup de résidus terreux, et peu propre en général à la réduction des minerais.

Ces propriétés de la houille peuvent être reconnues avec certitude sans qu'il soit nécessaire d'opérer en grand. A cet effet, on réduit la houille en poudre, et on la chauffe dans un creuset couvert. La poudre de houille grasse se coagule, entre en fusion en augmentant considérablement de volume, et se moule de manière à prendre la forme du vase. La houille maigre se coagule sans augmentation, et même le plus souvent avec diminution de volume, et produit du coke en masse frittée assez ferme. La houille sèche ne se coagule pas, et laisse un coke en poudre incohérente.

Les houilles sont d'autant plus propres à la carbonisation, qu'elles laissent moins de cendres, et que ces cendres sont moins colorées. Une forte coloration en rouge indique que la houille contient une grande quantité de pyrites ou sulfure de fer, et dans ce cas, il faut la rejeter; car, quelque mode de carbonisation que l'on emploie, on ne parvient jamais à un dessoufrage complet, et surtout à empêcher les combinaisons du soufre avec les diverses substances que contient la houille.

Des analyses faites avec soin par M. Gauthier de Claubry sur du coke provenant des houilles de Saint-Étienne et Rivedegier (Loire), ont prouvé que la quantité de soufre restant dans le coke peut varier entre 2,56 et 6,46 pour 100 de son poids, et que, pour le plus grand nombre de houilles, cette quantité est comprise entre 3,92 et 4,64 pour 100. On voit, d'après ces résultats, combien il est important de ne pas employer de houilles trop pyriteuses.

Quant à la quantité de cendres que peut sans inconvénient contenir le coke, Karsten dit, dans son Manuel de Métallurgie, qu'on peut admettre que le coke qui en laisse au-delà de 5 pour 100, peut à peine servir au traitement des minerais de fer; mais cette limite est certainement beaucoup trop resserrée, car les cokes provenant de très bonnes houilles d'Angleterre, telles que celles de Dudley, de Martyr-tidvil et de Coalbrokdale, laissent de 6,32 à 7,13 pour 100 de cendres, et cependant les fourneaux alimentés avec ces combustibles marchent très bien et produisent de très bonnes fontes. Les fourneaux de Vienne (Isère) et de Lavoulte (Ardèche) n'ont jamais été alimentés avec du coke laissant moins de 7,50 pour 100 de cendres, et très souvent la proportion de ces dernières s'est élevée jusqu'à 12 ou 13 pour 100 sans que la marche de ces fourneaux en soit dérangée ou la qualité de la fonte altérée. Du reste, la limite du contenu des cendres doit dépendre des minerais employés, et par conséquent varier dans les diverses localités.

Il n'est pas sans importance, pour bien diriger les fourneaux alimentés par le coke, de connaitre la composition des cendres. Elles contiennent en général des sulfate, muriate et carbonate de potasse qui n'ont aucun effet nuisible; de la silice en très grande proportion; de l'alumine, du carbonate de chaux, des sels de magnésie et de l'oxide de fer en proportions très variables. La silice et l'alumine, à raison des proportions plus considérables qu'elles présentent, sont ici, pour ainsi dire, les seules substances à considérer. Il résulte des analyses précédemment citées, que la proportion de

silice varie de 36,30 à 73,20 pour 100, et qu'elle est moyennement de 50 à 51 pour 100 du poids des cendres. Quant à l'alumine, sa proportion varie de 11 à 36 pour 100, et moyennement elle est de 24 à 25 pour 100.

CARBONISATION DU BOIS.

Des divers moyens de carboniser le bois, on ne fait usage, dans les usines, que de la carbonisation en *meules* et en *tas*, l'expérience prouvant que la carbonisation, effectuée dans des fourneaux ou dans des fosses, ne présente aux maîtres de forge aucun avantage réel sur ces deux méthodes, lorsque les opérations sont bien dirigées. Elles permettent d'ailleurs d'opérer sur le lieu même de l'exploitation, ce qui diminue beaucoup les frais de transport du bois, et n'exige qu'une préparation simple et peu dispendieuse.

Par l'une comme par l'autre méthode, les bûches sont réunies en masses plus ou moins considérables sur un emplacement qu'on nomme *aire* ou *faulde*, et après avoir été couvertes de terre, elles sont chauffées et carbonisées par une combustion partielle.

Le choix de l'emplacement exige une attention particulière, parce qu'il influe beaucoup sur les résultats de l'opération. On doit choisir autant que possible un terrain horizontal, abrité des courans d'air, sec et disposé de manière que l'eau ne puisse y séjourner; mais placé dans le voisinage de l'eau, à moins qu'on ne puisse se la procurer en creusant à une faible profondeur. La terre ne doit être ni assez légère pour que l'air puisse la traverser, ni assez compacte pour que les liquides, qui se forment pendant la carbonisation, ne puissent s'y infiltrer. Dans le premier cas, le charbonnier ne peut conduire l'opération à son gré; dans le second, les liquides s'élèvent en vapeur, éteignent le feu et produisent des fumerons, c'est-à-dire des morceaux qui ne sont pas complétement carbonisés. A défaut de terrain convenable, il faut recouvrir l'emplacement de branchages et même quelquefois de troncs d'arbres jointifs, qu'on charge ensuite de terre, ou d'un mélange de terre, de poussier de charbon et de cendres, lorsqu'on peut s'en procurer. On nomme ce mélange *fraisil* ou *terre de charbonnier*.

Lorsqu'on carbonise en meules, la faulde est horizontale, de forme circulaire, et quelquefois on lui donne une légère pente du centre à la circonférence pour favoriser l'écoulement des liquides. Lorsqu'on carbonise en

tas, les fauldes sont horizontales, ou inclinées de 15 à 20 degrés au plus, et de forme rectangulaire. Les descriptions des fig. 1 à 4, 5 à 11, Pl. 5, indiquent ces diverses dispositions.

Les dimensions des meules sont très variables : on leur donne depuis 2^m jusqu'à 12^m de diamètre, et leur hauteur varie de 2^m à 4^m50 environ. Celles de 5 à 7^m de diamètre sont le plus fréquemment employées, et on leur donne une hauteur à peu près égale à la moitié du diamètre de la base. Elles se composent de deux ou trois piles, selon la longueur des bûches. Dans les meules d'un plus grand diamètre, la hauteur varie entre la moitié et le tiers de la base, et presque toujours elles sont formées de trois piles. Ces meules contiennent de 90 à 160 stères, et les meules ordinaires en contiennent de 30 à 50. En général les grandes meules sont préférables aux petites, parce que, développant plus de chaleur, la carbonisation peut s'y effectuer par un plus faible courant d'air et avec de moindres déchets; au reste cela dépend beaucoup de l'adresse et de la surveillance du charbonnier.

Les dimensions des tas varient suivant la longueur des bois; les plus ordinaires sont de 8^m (24 à 25 pieds) de longueur sur 2^m60 (8 pieds) de largeur, et alors les bois peuvent être coupés en billes de 4 ou 8 pieds de longueur.

On a essayé de varier la disposition des bois, et de les placer partie debout, partie couchés, ou par couches alternant entre elles de diverses manières; mais il paraît que la disposition est assez indifférente, et que l'essentiel est d'éviter les vides, ou du moins de remplir avec des bois plus menus ceux qu'on ne peut éviter.

Les tas contiennent ordinairement de 45 à 60 stères de bois, et la durée de l'opération est de 6 à 8 jours. La même faulde peut servir plusieurs fois.

Cette méthode de carbonisation est employée dans quelques contrées méridionales de l'Allemagne, en Russie et en Suède. On assure qu'elle a beaucoup d'avantages sur la précédente, et que le rendement en charbon est bien plus considérable. L'opération est plus facile à diriger, et l'action du vent ne lui est pas aussi préjudiciable que dans la carbonisation en meules.

L'opération de la *cuisson* se conduit d'une manière analogue dans les deux systèmes de disposition, et les précautions à prendre sont à peu près les mêmes. Il faut en général que les fourneaux, en meules ou en tas, soient autant que possible abrités du vent, que l'ignition se propage avec lenteur,

qu'elle se fasse également, ce dont on juge par le plus ou moins d'uniformité dans les affaissemens, et que le charbonnier apporte la plus grande attention à la marche du feu, surtout au commencement de l'opération. On n'entrera pas ici dans de plus amples détails au sujet de la cuisson et de l'extinction du charbon, parce que ces détails sont spécialement du ressort de l'ouvrier, et n'offriraient aux maîtres de forges qu'un très faible intérêt. On peut du reste, à cet égard, consulter le Manuel de Métallurgie du Fer de Karsten.

Au moyen d'une faulde permanente, pour l'opération en meules, ou d'un appareil très simple adapté aux tas, on peut, à très peu de frais, recueillir les produits accessoires de la carbonisation, tels que l'acide pyroligneux et le goudron. Les fig. 8, 9; 10, 11; Pl. 5, montrent les dispositions à suivre, et leurs descriptions indiquent suffisamment comment on peut opérer.

Produits. La qualité et la quantité des charbons obtenus par l'une ou l'autre méthode, dépendent de l'état des bois et des soins apportés à la carbonisation. Les bois sur le retour ou humides donnent de mauvais charbons et en moindre quantité. Les bois nouvellement abattus produisent un charbon plus léger et plus friable que le bois sec, et rendent la carbonisation plus difficile à diriger. Une carbonisation trop prompte augmente considérablement les déchets, et ne rend souvent en charbon que 12 à 18 pour 100 du poids des bois employés. En conduisant, au contraire, l'opération avec lenteur, on obtient jusqu'à 32 et 33 pour 100. Le produit ordinaire, dans un grand nombre de localités, n'est que 26 à 27 pour 100, parce qu'en général les ouvriers n'apportent pas tous les soins nécessaires, soit à l'arrangement des bois, soit pendant leur cuisson.

Les produits mesurés au volume présentent également de très grandes différences. Tantôt on n'obtient que 35 pour 100 du volume des bois employés, tantôt on retire jusqu'à 50 pour 100. Cela dépend non seulement de la grosseur et de l'âge des bois, mais encore de la manière dont ils ont été cordés. Lorsqu'on reçoit les charbons au volume, il est essentiel de contrôler ce mode de réception par quelques pesages, pour juger si la carbonisation a été faite avec tout l'avantage possible.

On reconnaît que le charbon est bien cuit lorsqu'il est dur, compacte, sonore, brillant dans sa cassure et présentant les couleurs de l'iris. Lorsqu'il n'est pas assez cuit, il a une couleur grisâtre, se brise difficilement, brûle

avec une flamme blanche et en répandant de la fumée. Le charbon trop cuit est tendre, friable, d'un noir terne, et ne sonne plus.

Poids des charbons. Il est très variable, selon l'âge, la grosseur et l'état de siccité des bois. Le bois passé, ou nouvellement abattu, donne un charbon plus léger que celui du bois sain et sec. Les branchages ou cimées donnent un charbon plus léger que les grosses branches ou les troncs d'arbres; enfin, comme le charbon absorbe facilement l'humidité, c'est encore une cause de variations considérables dans son poids. Aussi, malgré le très grand nombre d'expériences que l'on a faites pour le constater, n'est-on pas parvenu à obtenir des résultats à peu près d'accord entre eux.

Voici toutefois ceux qui paraissent mériter le plus de confiance, parce qu'ils ont été donnés par des pesées réelles et répétées, au lieu d'être déduits des pesanteurs spécifiques des charbons, comme l'ont fait plusieurs expérimentateurs :

Charbon de hêtre en rondins et bois de fente..........	26 à 28 kil. l'hectolitre.
Charbon de hêtre en bois de cimées..................	23 à 24
Charbon de chêne en rondins et bois de fente..........	22 à 25
Charbon de chêne en taillis........................	20 à 21
Charbon de bois tendres...........................	14 à 18
Charbon de pin et sapin...........................	18 à 22

Ces résultats ont été obtenus sur des charbons ayant déjà quelque temps de séjour en magasin, et d'un très bon usage pour les travaux métallurgiques.

Emploi des Bois desséchés et torréfiés.

Depuis quelques années, on s'occupe de substituer le bois au charbon de bois dans le traitement des minerais de fer; mais, jusqu'à présent, les expériences faites et les résultats obtenus n'ont encore fourni rien de bien positif sur les avantages qu'on peut retirer de cette substitution, même faite partiellement et avec certaines préparations.

Il est démontré seulement, 1°. que les bois verts, quelle que soit leur essence, ne peuvent être employés; 2°. que les bois desséchés de manière à chasser toute l'eau qu'ils contiennent à l'état de mélange, et qui forme à peu près les $\frac{1}{10}$ de leur poids, peuvent opérer la réduction des minerais, mais sans avantages sous les rapports de fabrication et d'économie; 3°. que les bois tendres ou résineux, ainsi préparés, sont préférables aux bois

durs, et conviennent encore mieux lorsqu'ils ont été flottés; 4°. enfin, qu'on obtient de meilleurs résultats des bois torréfiés, c'est-à-dire imparfaitement carbonisés et amenés seulement à l'état de fumerons.

Les avantages que présentent les bois tendres ou résineux flottés, ainsi que les bois torréfiés, relativement aux bois durs ou non flottés, tiennent à ce que les premiers achèvent plus facilement leur carbonisation dans les fourneaux de fusion, et y développent une température suffisante pour fondre les matières, en même temps qu'ils fournissent le charbon nécessaire à la formation de la fonte de fer; mais toutefois, les essais faits dans ces circonstances n'ont obtenu jusqu'ici aucun succès décisif, même en employant l'air chaud pour activer la combustion dans les fourneaux.

On a obtenu des résultats plus avantageux, en remplaçant une partie du charbon seulement, soit par du bois desséché, soit même par du sapin flotté à l'état de dessiccation ordinaire; et il paraît, d'après les essais faits à l'usine de Plons près Sargans (Suisse), et dans plusieurs usines du Rhin, qu'au moyen du vent chaud on peut remplacer avec succès, sous tous les rapports, la moitié du charbon ordinairement employé par un volume égal de bois scié à une longueur convenable.

Dans les fourneaux alimentés par le vent froid, ce mélange n'offre plus les mêmes avantages; mais les essais faits au fourneau d'Échallonges et à l'usine de Sionne annoncent la possibilité de les obtenir, en substituant le bois torréfié au bois simplement desséché. En effet, dans ces usines, les fumerons employés par tiers environ en volume avec le charbon de bois, n'ont apporté aucun changement dans le travail, continué ainsi pendant plusieurs jours.

Des essais plus suivis faits au fourneau des *Bièvres* (près la forge de Grandpré, Ardennes), alimenté par de l'air chaud, ont donné des résultats plus favorables encore à l'emploi du bois torréfié mélangé avec le charbon, et font espérer que le bois, ainsi préparé, pourra remplacer avec avantage les trois quarts et peut-être les quatre cinquièmes du volume de charbon précédemment consommé. Aussi, ce procédé est-il déjà pratiqué dans plusieurs fourneaux du département des Ardennes; et s'il n'a pas encore acquis toute la régularité désirable sous le rapport des produits, du moins donne-t-il déjà des résultats satisfaisans sous le rapport de l'économie. (Voir Section II, Résultats d'expérience.)

Le succès de ce procédé, pour lequel son auteur, M. Houzeau-Maison,

de Reims, a pris un brevet d'invention, paraît dépendre beaucoup de la préparation du bois, qui se fait de la manière suivante :

Le bois étant mis en fagots, on le scie en morceaux de 3 à 4 pouces de longueur; puis on le jette dans des fours, où, par une combustion partielle, on en fait dégager l'eau et l'acide acétique. Ces fours sont placés près de l'ouverture supérieure du fourneau, et lorsque la torréfaction est suffisamment avancée, le bois est immédiatement chargé avec du minerai et une certaine quantité de charbon.

La charge de chaque four est de six rasses, pesant chacune 33 kil., ou de 198 kil. de bois, formant à peu près deux tiers de stère; elle produit quatre rasses pesant 22 kil. et demi l'une, soit 90 kil. de bois torréfié. Le rendement est donc de 45 pour 100 en poids, et de 66 pour 100 en volume.

Lors des premiers essais, on n'opérait que dans deux fours; mais, pour assurer le service en portant la consommation du bois torréfié au maximum possible, quatre fours seraient nécessaires, dont trois au moins constamment en activité.

Voici les frais comparatifs pour la fabrication d'un char de charbon contenant 28 à 30 hectolitres, et pour celle d'un même volume de bois torréfié :

1°. Pour un char de charbon pesant environ 685 kilogrammes, 7 cordes de 80 pouces de couche, 40 pouces de hauteur, le bois ayant 30 pouces de longueur, à 6 fr. l'une........	42 fr.	» c.	
Cuisson..	3	»	
Transport......................................	4	»	
Prix de fabrication..............................	49 fr.	» c.	
Déchet dans les halles, 12 pour 100....................	5	88	
Coût total, 8 fr. 01 c. par 100 kil., et pour un char........			54 fr. 88 c.
2°. Pour un char de bois torréfié pesant moyennement 970 kil., 2 cordes $\frac{22}{100}$ de bois, à 6 fr. l'une....................	13 fr.	32 c.	
Transport, à 2 fr..................................	4	44	
Façon pour le découpage, à 3 fr. par corde...............	6	66	
Torréfaction dans les fours, à 1 fr. par corde..............	2	22	
Entretien des fours, outils, intérêts du capital d'établissement.	»	45	
Coût total, 2 fr. 80 c. par 100 kil., et par char............			27 09
Économie en faveur du nouveau procédé..............................			27 fr. 79 c.

Les frais de carbonisation sont portés ici tels qu'ils sont établis à l'usine

des Bièvres, et ceux de torréfaction ont été augmentés pour la main-d'œuvre, qui paraissait être estimée trop bas, en ajoutant en outre les frais d'entretien. On peut compter, dès lors, sur la possibilité de l'économie ci-dessus, et même sur la probabilité de son accroissement, lorsque l'expérience aura apporté plus de perfection dans les moyens de préparation.

CARBONISATION DE LA HOUILLE.

On ne carbonise ordinairement que les houilles grasses et les houilles maigres; les houilles sèches ne peuvent se carboniser seules, et si l'on est obligé d'en faire usage, il faut absolument les mélanger avec les autres espèces, en proportions suffisantes pour que le mélange puisse s'agglutiner.

La carbonisation se fait, soit entièrement à l'air, soit dans des espèces de fourneaux ouverts à leur partie supérieure, soit enfin dans des fours recouverts d'une voûte; chacun de ces modes a ses avantages et ses inconvéniens, que nous ferons connaître en décrivant les opérations, et leur emploi dépend de la qualité de la houille et de la nature du coke que l'on veut obtenir.

CARBONISATION DE LA HOUILLE EN GROS FRAGMENS.

La houille en gros fragmens se carbonise généralement à découvert, en tas ou en meules. L'emplacement sur lequel on veut opérer doit être assez élevé pour que l'eau ne puisse y séjourner, et le terrain doit être assez compacte; dans le cas contraire, il faut le recouvrir de terre grasse bien battue, sur une épaisseur de 15 à 16 centimètres, ou former, comme on le voit *fig.* 12 et 13, Pl. 5, une aire ou faulde A en briques de champ, et à laquelle on donne une légère inclinaison du centre vers les bords.

Après avoir opéré, il faut avoir soin de déblayer les fauldes du fraisil qui les encombre : une partie de ce fraisil doit être relevée sur leur pourtour, et à proximité pour les besoins de la carbonisation.

Carbonisation en tas. Les tas étant formés, comme l'indiquent les figures ci-dessus et leur description, sur une longueur à laquelle on peut donner jusqu'à 30 ou 40 mètres, l'ouvrier enlève les piquets, et projette dans chaque cheminée de la houille enflammée. Au bout de 5 ou 6 heures, toute la masse de combustible est en pleine ignition, et brûle avec beaucoup de flamme accompagnée d'une fumée épaisse; puis, après un certain temps, dont la durée dépend de la nature de la houille, du

plus ou moins de siccité et d'agitation de l'air, la flamme et la fumée cessent peu à peu, et la surface du tas commence à se couvrir de cendres blanches en différens points. C'est un indice que la carbonisation y est achevée, et le charbonnier doit aussitôt recouvrir ces points avec du fraisil pour tâcher d'étouffer le feu. Il est très essentiel qu'il saisisse le moment précis de couvrir ainsi le tas; car d'une combustion trop prolongée peut résulter un déchet très considérable, surtout s'il règne un vent fort, et en l'arrêtant trop tôt on obtient un coke mal cuit, dur, et brûlant très difficilement.

Selon l'état de l'atmosphère et la nature de la houille, la carbonisation se fait plus ou moins promptement. Par un temps calme, elle exige 14 à 15 heures si l'on a employé de la houille maigre, et jusqu'à 36 et 48 heures si la houille est très grasse; lorsque l'air est agité, l'opération peut marcher beaucoup plus vite.

La meule étant couverte en entier d'une couche de fraisil D, de 6 à 8 centimètres d'épaisseur, fortement humectée et bien battue avec la pelle, de manière à intercepter l'air, on la laisse en cet état pendant 3 à 4 jours pour éteindre le coke entièrement; on le tire ensuite avec un crochet et un râteau en fer, en commençant par un des bouts du tas, et en arrosant d'un peu d'eau les morceaux qui sont encore en feu.

Produits. Par cette méthode on obtient, en général, un coke de bonne qualité; mais elle donne presque toujours lieu à des pertes considérables de combustible, surtout avec les houilles très bitumineuses. Dans les circonstances les plus favorables à l'opération, et lorsqu'elle est conduite avec toute l'attention nécessaire, on peut obtenir de 40 à 45 pour 100 de coke, en poids, avec les houilles grasses, 50 à 55 avec les houilles moyennes, et 60 à 70 avec les houilles maigres. Mais rarement on parvient à de tels résultats : un vent tant soit peu fort les diminue considérablement, et par un vent violent on perd quelquefois la moitié des produits, malgré tous les efforts des ouvriers pour arrêter la combustion. On ne peut guère compter, moyennement, sur plus des trois quarts des produits précédemment indiqués.

Ce procédé permet de carboniser de très grandes quantités de houille à la fois; mais, à raison des forts déchets qu'il occasionne, il ne peut convenir que dans les localités où le combustible est à très bas prix, et n'a à supporter que de minimes frais de transport pour arriver au lieu de consommation, soit à l'état de houille, soit à l'état de coke; sa simplicité peut alors lui valoir la préférence sur d'autres moyens plus coûteux, tant par les frais d'établis-

sement que par ceux d'entretien et de fabrication. Il est généralement en usage dans le pays de Galles (Angleterre), et on l'emploie aussi, en France et en Belgique, dans les établissemens métallurgiques situés sur les houillères ou à proximité.

Carbonisation en meules. On obtient des produits plus constans soit pour la qualité, soit pour la quantité, et avec de moindres déchets, en carbonisant la grosse houille en meules. On donne à ces dernières 3 à 5 mètres de diamètre à la base, et leur hauteur se règle par les mêmes considérations que celle des tas. On forme une cheminée au centre au moyen d'un piquet, et on le fait correspondre avec trois ou quatre galeries en rayons, réservées lors de la construction de la meule. L'arrangement du charbon et la conduite de l'opération sont, du reste, les mêmes que pour les tas.

Cette méthode a reçu en Angleterre un perfectionnement important que l'on va faire connaître, en décrivant le procédé particulièrement usité dans le Staffordshire, et dont les résultats sont en général très avantageux.

Il consiste à construire une faulde, comme il est indiqué par les *fig.* 1 et 2, Pl. 6, puis à former un tas de houille autour de la cheminée qui en occupe le centre, en observant les précautions indiquées dans la description.

Le tas étant achevé, on y met le feu en projetant dans la cheminée de la houille bien enflammée, qui, par les ouvreaux inférieurs, propage bientôt la combustion dans toute la masse. Si la couverture n'a pas été mise préalablement, ce qu'il convient en général de faire lorsqu'on opère sur des houilles peu grasses, il faut la donner aussitôt que la masse est embrasée, afin de ralentir la combustion et d'éviter l'incinération d'une trop forte partie du combustible. Si au contraire la meule a été couverte avant l'allumage, il faut, au besoin, percer la couverture çà et là pour que la combustion s'accélère et se répande partout uniformément. On referme les trous que l'on a faits dès que le but est atteint, et l'on oblige alors la fumée à sortir uniquement par la cheminée, en arrosant et réparant souvent la couverture.

Selon le volume de la meule et la nature de houille employée, la combustion dure de 24 à 36 heures. A mesure que la carbonisation avance, la fumée, d'abord très épaisse et accompagnée de flamme, diminue successivement d'intensité; la flamme devient plus claire, puis finit par prendre une couleur bleuâtre. Lorsqu'il ne se produit plus ni flamme ni fumée, l'opération est terminée et l'ouvrier ferme aussitôt l'orifice du tuyau. Alors il ouvre dans la couverture une ou deux rangées circulaires de trous, au nombre de 8 pour les petites meules et de 16 pour les grandes, et dans chacun de ces

trous il verse trois à quatre seaux d'eau pour éteindre le coke. Cet arrosage est très important pour obtenir de bons résultats, en ce qu'il est un moyen d'enlever au combustible une partie du soufre qu'il retient encore. Après 12 à 24 heures on tire le coke, en achevant de l'éteindre avec de l'eau s'il est nécessaire.

On peut aussi procéder à l'extinction par étouflement comme dans la carbonisation en tas; mais, outre qu'il faut attendre 3 ou 4 jours avant de tirer le coke, il n'est jamais si bien dessoufré que par l'arrosage.

Produits. La quantité de coke que l'on obtient par ce procédé varie de 45 à 50 pour cent en poids, avec les houilles grasses et demi-grasses ordinairement employées dans le Staffordshire. Rarement on carbonise les houilles maigres de cette manière, mais, lorsqu'on en fait usage, le rendement s'élève moyennement de 60 à 65 pour cent. Dans tous les cas on obtient un coke de bonne qualité, plus compacte, et développant plus de chaleur que celui que l'on fabrique en tas.

Frais de fabrication. Pour faire journellement 20 tonnes (1) de coke, en supposant la houille sur place, les hommes payés à la façon et non à la journée, il faut 9 à 10 ouvriers pour faire les tas ou les meules; 6 charbonniers pour diriger la cuisson, dont 3 pour le jour et 3 pour la nuit; 6 ouvriers pour tirer le coke, l'éteindre, et déblayer les aires. D'après ces bases, les frais de fabrication sont à peu près compris dans les limites suivantes, selon le prix du travail :

	pour les tas.	pour les meules.	
Main-d'œuvre.......	2 fr. » c. à 2 fr. 50 c...	2 fr. 25 c. à 2 fr. 75 c.	par tonne, ou par 1000 kilog.
Outils..............	» 12 » 15....	» 10 » 12	
Construction et entretien des cheminées..	» » » »....	» 8 » 10	
Totaux....	2 fr. 12 c. à 2 fr. 65 c...	2 fr. 43 c. à 2 fr. 97 c.	

La fabrication en meules coûte donc un peu plus que l'autre, mais comme le rendement est en général plus fort, l'excédant de dépenses qu'elle occasionne est plus que compensé par l'économie de houille qu'elle procure, en sorte qu'en définitive, à circonstances égales, le coke coûte moins cher.

(1) Selon l'usage qui commence à prévaloir dans les usines françaises, nous emploierons l'expression de *tonne* pour désigner un poids de 1000 kilogrammes.

CARBONISATION DE LA HOUILLE MENUE.

Lors même que la houille est tout-à-fait menue et presque réduite en poussière, il est encore possible de la carboniser, pourvu qu'elle s'agglutine en brûlant. Si elle est traitée convenablement, et bonne d'ailleurs, le coke qui en provient est presque égal en qualité à celui que donne la houille en gros fragmens.

Mais pour parvenir à ce résultat il faut que la houille menue soit pure; dans le cas contraire on est obligé de la passer à la claie pour enlever les pierres et les débris de schistes qu'elle contient. On pratique même presque toujours cette opération sur la houille pure, pour en séparer tous les morceaux qui peuvent servir sur les grilles; et de cette manière on tire du combustible le parti le plus avantageux, en ne livrant à la carbonisation que celui qui a la moindre valeur, et dont l'emploi est le plus restreint.

La houille menue se carbonise en *tas allongés,* en *meules,* entre des murs ou en *fourneaux découverts,* et en *fours couverts.* Quel que soit le mode employé, il faut qu'elle soit mouillée uniformément, et assez pour conserver aux tas, ainsi qu'aux vides qu'il faut y ménager pour que la combustion puisse avoir lieu, la forme qu'on veut leur donner.

Carbonisation en tas et en meules.

Après avoir préparé le terrain comme on l'a indiqué pour la carbonisation de la houille en gros fragmens, on recouvre l'aire ainsi formée d'une couche de fraisil de 6 à 8 centimètres d'épaisseur. Cette précaution est nécessaire pour que la combustion s'opère bien dans la partie inférieure des tas ou des meules.

Cela fait, on dispose les moules pour former des tas allongés (*fig.* 3, 4 et 5, Pl. 6), ou des meules (*fig.* 6, 7 et 8), et l'on arrange le combustible dans ces moules, comme il est indiqué par la description; en sorte que la masse de houille est criblée par des canaux qui se croisent et servent à propager le feu en tous sens.

Conduite de l'opération. Pour allumer les meules ou les tas, les ouvriers charbonniers mettent sur leur partie supérieure, et seulement dans la ligne des trous verticaux ou cheminées, des fragmens moyens de houille sur une hauteur de 16 à 20 centimètres (6 à 7 pouces), en ayant soin de laisser assez de vides entre eux et de n'en pas jeter dans les cheminées, afin de ne

pas les obstruer. Après quoi, de distance en distance, ils mettent de la houille embrasée au milieu des fragmens; ce qui suffit pour enflammer successivement toute la masse. Il ne faut jamais allumer par le bas, parce que les tas se déforment trop vite par suite du gonflement qu'occasionne l'ignition.

Lorsque la flamme commence à paraître par les trous horizontaux, les ouvriers veillent à ce qu'ils ne s'obstruent pas, et les débouchent au besoin avec des ringards. La combustion descend ainsi jusqu'à la base des tas. Lorsqu'elle cesse en un point, qu'il n'y a plus de flamme, et que la surface, encore en pleine incandescence, commence à s'incinérer, ils couvrent ce point avec de la terre ou du fraisil; puis continuent de la même manière, jusqu'à ce que toute la surface soit couverte. La carbonisation est alors achevée.

On peut laisser le coke s'éteindre ainsi, ce qui arrive au bout de 12 à 15 heures; mais lorsqu'on le peut, il est préférable de verser de l'eau par les cheminées pendant que la masse est encore en feu, et en quantité suffisante pour que cette eau pénètre bien jusqu'à la partie inférieure. Le feu, d'abord ralenti, reprend bientôt avec une nouvelle activité, et il se répand une odeur sulfureuse très prononcée; on retire ensuite le coke en l'éteignant avec de l'eau, ou bien on étouffe le feu en couvrant de toute part. La durée moyenne d'une opération est de 7 à 8 jours.

Produits. Par la carbonisation en tas ou en meules, on peut obtenir jusqu'à 50 pour 100 de coke, lorsque l'opération est bien conduite et qu'on travaille par un temps calme; mais il est rare d'atteindre à ce résultat, et la moyenne de la carbonisation d'une année, faite de l'une et l'autre manière aux forges de Terrenoire, près Saint-Étienne, n'a produit que 43 pour 100, tous déchets déduits. On ne peut guère compter, en général, sur plus de 45 pour 100.

Le coke que l'on obtient est d'ailleurs de très bonne qualité, en gros fragmens, assez compacte, et d'une couleur gris d'acier, jointe à l'aspect métallique dans sa cassure; il n'est ordinairement boursouflé que dans les parties qui forment la surface des tas.

Frais de carbonisation. Pour faire les meules ou les tas, il faut six ouvriers, dont deux amènent le combustible, tandis que les autres le jettent et l'arrangent dans les moules. Lorsque ces ouvriers sont payés à la journée, ils ne font habituellement que trois meules par jour; payés à la façon, ils en font quatre.

Pour carboniser la houille préparée par douze ouvriers, il faut six charbonniers, dont trois travaillent le jour et les trois autres la nuit; il faut, en outre, quatre à cinq manœuvres pour défaire et achever d'éteindre les tas, et quatre autres pour enlever le coke.

A l'usine du Janon, près Saint-Étienne, où les ouvriers étaient payés à la journée, les dépenses par 1,000 kil. de coke fabriqué s'élevaient, en 1826, à 4 fr. 10 c., savoir :

Pour la construction des tas	1 fr.	65 c.
Pour la carbonisation	1	»
Pour défaire les tas	»	85
Pour l'enlèvement du coke	»	40
Entretien des outils et ustensiles	»	20
Total par 1,000 kilogrammes	4 fr.	10 c.

La quantité de coke fabriqué par le nombre d'ouvriers indiqué ci-dessus était de 14 à 15 tonnes par jour.

A l'usine de Terrenoire, où les ouvriers sont payés à façon, les frais de carbonisation par 1,000 kil. de coke étaient, en 1828, de 2 fr. 75 c., savoir :

Pour main-d'œuvre de toute nature et enlèvement du coke	2 fr.	60 c.
Entretien des outils et ustensiles	»	15
Total par 1,000 kilogrammes	2 fr.	75 c.

quoique la fabrication ne s'élevât qu'à 8 ou 9 tonnes au plus par jour. Dans l'un et l'autre cas, la houille était rendue sur l'emplacement de la carbonisation.

Observation. Si la carbonisation en plein air a l'inconvénient de donner beaucoup de déchets, elle offre aussi un avantage important, en ce que les gaz peuvent se dégager en tous sens avec facilité; d'où résulte que, sans soins particuliers, on obtient un coke aussi bien dessoufré que possible.

Carbonisation de la houille menue en fourneaux découverts.

On évite les inconvéniens de la carbonisation en plein air, et l'on conserve ses avantages, en fabriquant le coke entre des murs ou en *fourneaux découverts*. Cette méthode, en usage pendant quelque temps à l'usine du Creusot, y a été abandonnée comme trop dispendieuse; mais elle est encore employée avec avantage à l'usine de Torteron (Nièvre).

Elle consiste à opérer la carbonisation dans une enceinte rectangulaire et découverte (*fig.* 9 et 10, Pl. 6), dont le fond ou la sole F, F (*fig.* 10) est traversée par des canaux C, C. Pour charger le four, on commence par remplir ces canaux de petits fagotins composés de menus branchages, et on les recouvre de fragmens de houille, afin qu'ils ne puissent être obstrués; puis on remplit l'enceinte de houille menue bien tassée et préalablement mouillée, on muraille les portes P, on bat le dessus de la houille avec une pelle, et l'on perce dans la masse des trous *a, a*, pour y établir une circulation d'air.

Conduite de l'opération. On porte le feu dans tous les canaux à la fois, et bientôt l'ignition se propage dans toute la masse; lorsqu'elle est parvenue à la surface, l'ouvrier doit observer avec soin le moment où les flammes rouges sont remplacées par des flammes bleuâtres, et alors il couvre de fraisil les parties carbonisées pour les soustraire au contact de l'air. Quand la carbonisation est complète d'un bout à l'autre du fourneau, on démolit les petits murs qui ferment les portes, on jette de l'eau sur le coke pour l'éteindre, on entre dans le fourneau pour briser le coke qui est pris en masse, et on l'enlève à la brouette. La durée de l'opération varie de 36 à 48 heures.

Produits. On obtient par cette méthode 50 à 55 pour 100, en poids, de coke compacte d'excellente qualité.

Observations. Ce mode de fabrication présente deux inconvéniens assez graves : 1°. d'exiger du bois pour mettre en feu, ce qui le rend impraticable ou trop dispendieux dans beaucoup de localités; 2°. de rendre le défournement du coke et le rechargement du fourneau très pénibles pour les ouvriers, ce qui élève le prix de la main-d'œuvre.

Frais de fabrication. D'après un Mémoire très détaillé de MM. Hennerel et Reverchon, ingénieurs des mines, la dépense par tonne de coke fabriqué au Creusot s'établissait comme suit :

Main-d'œuvre de carbonisation	10 fr.	67 c.
Enlèvement du coke	1	46
Bois et charbon de bois pour mettre en feu	2	38
Outils	»	74
Total par 1,000 kilogrammes	15 fr.	25 c.

et dans ce prix, fort élevé, ne sont pas encore compris les frais d'entretien des fours.

A Torteron, on a considérablement réduit les frais de fabrication, et le bois employé n'a que très peu de valeur; mais quelque diminution qu'on ait pu apporter dans les dépenses de ce mode d'opération, elles sont nécessairement plus considérables que celles occasionnées par toutes les autres méthodes.

Carbonisation de la houille dans les fours.

La carbonisation dans les fours ne s'applique ordinairement qu'aux houilles menues, grasses ou maigres. Si la houille est pure, on peut y laisser les petits fragmens qu'elle contient; dans le cas contraire, il faut la cribler comme nous l'avons indiqué en parlant de la carbonisation des houilles menues en meules ou en tas. Si la houille est assez desséchée pour ne pas conserver la forme qu'on lui donne en la pressant dans les mains, il faut la mouiller aussi uniformément que possible. Cette opération est très importante pour la carbonisation en fours, et d'autant plus que la houille est plus sulfureuse; elle a pour but non seulement de ralentir la combustion pendant les premiers momens, et par-là de favoriser le dégagement du soufre et des autres matières volatiles, mais encore de former de la vapeur d'eau, qui, s'échappant au travers du combustible, donne plus de porosité au coke, laisse par ce moyen une plus libre issue aux différens gaz, et rend la carbonisation plus égale.

On a fait sur la forme des fours des essais qui semblent prouver que cette forme n'est pas tout-à-fait indifférente au succès de l'opération; les fours le plus généralement adoptés sont les fours elliptiques et les fours circulaires, représentés Pl. 7. Pour que la carbonisation s'y fasse bien et avec économie, ils doivent être assez spacieux, laisser un libre dégagement aux matières qui se volatilisent, et n'avoir qu'un faible tirage. Au-delà d'une certaine capacité, le service et la conduite des fours circulaires deviennent plus difficiles, et par ces motifs les fours elliptiques sont adoptés de préférence, lorsqu'il s'agit de carboniser des quantités considérables de houille.

La Planche 7 et sa description font connaître avec détail tout ce qui concerne la disposition et la construction de ces deux espèces de fours.

Avant de les employer, il faut les faire sécher lentement, soit à l'air libre, soit à l'aide de la chaleur en y allumant un peu de bois, auquel on mêle de la houille. Pendant cette opération, il se manifeste toujours quelques gerçures dans les soles en terre, et il faut avoir soin de les rem-

plir à mesure. On fait un feu successivement plus fort, et on le continue jusqu'à ce qu'on n'aperçoive plus de vapeur sortir par les canaux; on procède alors au chauffage. A cet effet, on brûle dans le four de la houille en morceaux, que l'on introduit successivement jusqu'à ce que toute la sole en soit couverte à 15 ou 16 centimètres de hauteur. Lorsque ce combustible est bien allumé, on place les portes en laissant un peu d'ouverture pour donner accès à l'air. On entretient le feu jusqu'à ce que le four soit chauffé au rouge dans toute son étendue, alors on enlève les portes, et l'on retire le coke qui s'est formé, ainsi que les cendres.

Chargement des fours. La houille menue étant convenablement préparée, aussitôt que le coke de chauffage est enlevé on amène cette houille sur les dalles placées au-dessous des portes, et les charbonniers l'introduisent de suite dans les fours, en la distribuant aussi également que possible sur la sole. Si la houille dont on dispose est très bitumineuse, il ne faut pas charger la sole à plus de 18 ou 20 centimètres de hauteur, parce que ce combustible, en se coagulant, s'oppose à la propagation du feu, et que la très grande quantité de vapeurs qui se dégagent pourrait même l'éteindre. Avec des houilles demi-grasses, comme celles dont on fait le plus souvent usage, la charge peut sans inconvénient avoir 22 à 25 cent. d'épaisseur.

Les fours elliptiques représentés Pl. 7, chargés de cette manière, contiennent de 25 à 30 hectolitres de houille, et les fours circulaires en contiennent 9 à 10. On ne peut dépasser de beaucoup ces quantités sans inconvéniens; c'est ainsi, par exemple, qu'en chargeant les fours elliptiques de 35 à 36 hectolitres, il faut prolonger de 10 à 12 heures la durée de la carbonisation, indépendamment de ce que les déchets sont plus considérables.

Conduite de l'opération. La carbonisation présente trois périodes distinctes, dont l'ouvrier doit observer avec soin la succession et la durée pour bien conduire son opération; de là dépend, en grande partie, la qualité du coke fabriqué en fours.

Première période. Immédiatement après l'enfournement de la houille, on ferme les portes et on les garnit avec de la terre glaise sur tout leur pourtour, sauf une longueur d'environ 20 cent. (7 pouces) sous la porte et dans son milieu, où l'on réserve un passage de 14 à 15 millimètres de hauteur (à peu près 6 lignes). La houille s'allume successivement par la seule chaleur du four, et il s'en dégage une fumée jaunâtre qui emporte une partie du soufre, de l'eau en vapeur et les différens gaz qui se forment.

Cette opération doit être conduite assez lentement, mais l'accès d'un peu d'air est nécessaire pour empêcher les produits volatils de séjourner dans le four et d'y former des combinaisons nuisibles. Il est essentiel de prolonger cette période le plus possible, et c'est ce qu'on obtient par le mouillage de la houille. Dans une opération bien conduite, elle doit durer environ 2 heures pour les fours elliptiques, et de trois quarts d'heure à une heure pour les fours circulaires. Lorsque le dégagement de soufre et de vapeurs qui peut s'opérer à cette première température est sur le point de s'achever, la fumée jaunâtre cesse un moment, et peu après il se fait dans le four une espèce d'explosion, à la suite de laquelle il y a combustion accompagnée d'une fumée épaisse et noire.

Deuxième période. La production de cette fumée indique le commencement de la seconde période, et alors toute la masse du combustible est incandescente, mais d'un rouge obscur. Dans ce moment, il faut dégarnir les portes et les élever de 6 à 8 cent. (2 pouces et demi à 3 pouces), de manière à laisser un libre accès à l'air. La combustion se fait avec rapidité, et il se dégage une flamme d'un rouge sombre, accompagnée d'une fumée épaisse. En opérant ainsi, on a pour but d'enlever l'eau, le bitume et le soufre qui n'ont pu se volatiliser pendant la première période. Au bout d'une demi-heure ou trois quarts d'heure, la fumée s'éclaircit et la flamme blanchit; c'est le moment d'observer ce qui se passe dans le four. L'inflammation de la masse est presque complète, et déjà elle commence à se fendiller de haut en bas. L'ouvrier doit suivre les progrès de ce fendillage, et lui laisser le temps de se propager jusqu'à la sole; ce qui exige environ trois quarts d'heure ou une heure, selon l'état de l'atmosphère : en sorte que la durée totale de cette période peut être d'une heure et demie à deux heures.

Troisième période. Elle commence lorsque, le fendillage étant terminé, le four est parvenu au rouge blanc; il faut alors interdire tout accès à l'air en abaissant les portes, et les margeant avec de l'argile sur tout leur pourtour. La haute chaleur, que l'on concentre ainsi, continue à opérer le dégagement des gaz, des matières huileuses et du bitume. La flamme blanchit de plus en plus, et s'élève encore à une assez grande hauteur pendant une demi-heure environ; après quoi elle se ralentit, s'abaisse successivement, et reste stationnaire. La plus grande partie des produits gazeux étant dégagée, la pression diminue dans le four, et bientôt l'air y entrerait par la cheminée, si l'on n'en diminuait l'ouverture; il en résulterait une combustion complète à la surface, une forte incinération, et enfin une couche

plus ou moins épaisse de houille trop carbonisée et friable, qui se réduirait ensuite en fraisil et augmenterait les déchets. Il est donc important de diminuer peu à peu l'ouverture de la cheminée au moyen d'une plaque en fonte ou registre, à mesure que le dégagement diminue, et jusqu'à ce qu'enfin il ne s'en fasse plus.

A cette époque, le coke est d'un rouge blanc, fendillé de haut en bas dans toute la masse, et recouvert d'une couche légère de cendres blanchâtres; l'ouvrier doit alors fermer totalement la cheminée, enlever les portes, et procéder au défournement du coke avec toute la promptitude possible.

La carbonisation conduite avec soin, ainsi que nous venons de l'indiquer, doit durer 21 à 22 heures au plus, et pas moins de 20 heures dans les grands fours; sa durée est à peu près moitié moindre dans les fours circulaires : en sorte que, y compris le temps de l'enfournement et du défournement, qui exigent à peu près une heure chacun, la durée totale de l'opération est d'environ 24 heures dans les grands fours et de 12 heures dans les petits.

Défournement et extinction du coke. Pour tirer le coke, le charbonnier introduit entre ce combustible et la sole du four un ringard, au moyen duquel il soulève et brise la masse; il attire ensuite les morceaux hors du four avec son fourgon, les fait tomber sur la dalle, où un autre ouvrier les reprend à la pelle et les jette à quelque distance du four pour n'en pas gêner le service. Il faut avoir soin d'étendre le coke sur un grand espace pour en faciliter l'extinction. On pourrait laisser le coke s'éteindre spontanément, mais on a remarqué qu'il était plus avantageux de l'éteindre en l'arrosant, non seulement parce qu'on arrête l'incinération, mais aussi parce que l'eau, en se réduisant en vapeur, enlève encore une partie du soufre : cette vapeur exhale, en effet, une forte odeur sulfureuse. Il ne faut pas, pour hâter l'extinction du coke, y jeter l'eau avec des seaux, parce qu'étant alors en trop grande masse pour être de suite vaporisée, elle humecte trop le coke, ce qui apporte de graves inconvéniens dans son emploi. Il est préférable de se servir d'arrosoirs ou de tout autre moyen de distribuer l'eau assez uniformément, et en quantité seulement suffisante pour assurer l'extinction.

Il arrive presque toujours, et surtout lorsque la carbonisation n'est pas bien conduite ou que la charge du four est trop forte, que la houille n'est pas complétement carbonisée dans les parties qui sont en contact avec la

sole; en sorte que le coke présente, sur une épaisseur de quelques centimètres, une sole ou semelle noire et friable. Il faut alors enlever cette couche ou *dessoler* le coke; ce que l'on fait avec une espèce de bèche ou de hache à main.

Produits et qualité du coke. Les produits que l'on obtient par la carbonisation en fours sont beaucoup plus considérables et plus constans que par les autres modes de travail. D'après un relevé exact de la carbonisation faite pendant une année, à Rive-de-Gier, pour la compagnie des fonderies et forges de l'Isère et de la Loire, 363,887 hectolitres de houille menue, pesant moyennement 75 kilogr. l'un, ont rendu en coke 18,964,900 kil. net; ce qui fait un peu plus de 52 kil. de coke par hectolitre de houille, tous déchets de carbonisation déduits. On a donc obtenu au-delà de 69 pour 100 en poids, tandis que les autres modes de fabrication ne rendent pas au-delà de 45 à 50 au maximum. Toutefois, on ne peut pas compter sur un produit aussi fort avec toute espèce de houille, et surtout avec celles qui sont très grasses; le produit moyen est alors de 65 à 66 pour 100.

A qualité égale de houille, le coke que l'on obtient dans les fours, en suivant la marche indiquée, est plus dense, plus compacte que celui qui provient des autres modes de carbonisation, et par cette raison il convient mieux, en général, pour la fusion des minerais; mais si l'opération n'est pas conduite avec les soins convenables, il peut retenir une plus grande quantité de soufre que le coke fait à découvert. De là l'opinion assez générale que le coke fait en fours est toujours plus sulfureux que celui provenant des autres modes de travail; mais une longue expérience a démontré qu'en suivant la marche précédemment indiquée, on obtient du coke aussi bien dessoufré que possible.

Ce coke est généralement fibreux et assez sonore; sa cassure se fait surtout perpendiculairement à la sole, et présente l'aspect de petites colonnes de basalte. On y aperçoit quelquefois des parties mamelonnées présentant l'aspect d'un chou-fleur, et des traces de fusion ou des espèces de larmes, ce qui a lieu particulièrement lorsqu'on emploie de la houille très grasse, et que la température du four est très élevée. Le meilleur coke est celui qui présente un éclat métallique sans irisations, soit à la surface, soit à l'intérieur; ces irisations sont toujours l'indice d'une opération mal dirigée ou de houilles très sulfureuses, et, lorsqu'elles sont nombreuses, elles nuisent beaucoup à la qualité du fer.

La carbonisation des houilles de Rive-de-Gier dans les fours produit

une augmentation de volume assez considérable; car, malgré les déchets provenant du dessolage, 100 hectolitres de houille rendent 122 à 123 hectolitres de coke du poids moyen de $42^k,5$. Dans la carbonisation à l'air libre, bien que la houille se gonfle également, on obtient rarement autant de coke que de houille en volume, outre que le poids de l'hectolitre est ordinairement moindre; on voit donc qu'il est bien plus économique d'opérer en fours qu'à découvert, sous le rapport du produit.

Prix de fabrication. D'après le relevé des dépenses d'une année de travail dans l'atelier de Rive-de-Gier, bien que dans cette contrée la main-d'œuvre soit très chère, et que les ouvriers aient toujours été payés à la journée au lieu de l'être à façon, comme dans beaucoup d'autres localités, le prix de fabrication de 1,000 kil. de coke s'établit comme suit :

Main-d'œuvre	1 fr. 90 c.
Entretien des fours et outils, frais généraux, intérêts du capital d'établissement.	» 50
Frais de direction et de surveillance	» 15
Total par 1,000 kilogrammes	2 fr. 55 c.

Dans ce prix sont compris le criblage de la houille, qui coûte 1 centime par hectolitre, ou environ 2 centimes et demi pour 100 kil. de coke, l'enlèvement de ce combustible pour le placer sous un hangard à proximité, s'il n'est pas expédié immédiatement, et le nettoyage de l'atelier. Lors donc que le criblage n'est pas nécessaire, le prix de fabrication ne s'élève pas à plus de 23 centimes par 100 kil., et, dans le cas le plus défavorable, ne surpasse pas le moindre prix de fabrication à découvert; en sorte qne, sous tous les rapports, la carbonisation en fours offre le plus d'avantages.

Personnel d'un atelier de carbonisation. Il faut 2 charbonniers pour conduire trois grands fours elliptiques ou six fours circulaires, et moitié autant d'aides charbonniers pour préparer la houille, nettoyer l'atelier, éteindre le coke et le dessoler. Les ouvriers charbonniers concourent au besoin à ces deux dernières opérations. Dans un atelier comprenant 48 grands fours, il faut en outre 18 à 20 hommes pour enlever le coke et le transporter à proximité, un surveillant de jour et un de nuit; 2 employés pour recevoir la houille, et tenir note de la charge des fours; un maçon, un forgeur pour entretenir les outils; un menuisier-charpentier pour faire et réparer les caisses et brouettes; enfin un directeur chargé de la surveillance générale de la comptabilité.

Carbonisation à l'usine du Creusot.

Pendant long-temps, à l'usine du Creusot (Saône-et-Loire), on carbonisa la houille en tas et près des puits d'extraction. A ce mode, qui donne des déchets trop considérables, succéda la fabrication entre des murs ou en fours découverts; et enfin, après de nombreuses expériences comparatives, on adopta définitivement la carbonisation en fours couverts, comme plus économique et aussi satisfaisante sous le rapport de la qualité du coke.

On fait usage de fours elliptiques à une et deux portes, et de fours à sole rectangulaire, également à deux portes opposées. Les fours elliptiques ne diffèrent pas essentiellement de ceux qu'on vient de faire connaître; et quant aux derniers, il suffira de décrire leur forme intérieure pour mettre à même de les construire, la forme du massif extérieur, d'ailleurs indifférente, étant à peu près la même que celle des fours de Rive-de-Gier. La sole de ces fours est un rectangle ayant 4^m62 de longueur sur 2^m21 de largeur; elle est faite en briques de champ, et, d'une extrémité à l'autre, elle a une pente d'environ un quatorzième de sa longueur. Le côté le plus bas n'est pas élevé au-dessus du sol de plus de 10 centimètres. Sur les grands côtés du rectangle sont élevées des parois verticales jusqu'à la hauteur de 0^m40 au-dessus de la sole, et sur ces parois s'appuie une voûte surbaissée dont l'axe est parallèle à la sole, et dont la plus grande élévation au-dessus de cette même sole est de 0^m75. Dans cette voûte, et au milieu de sa longueur, est pratiquée une cheminée carrée de 0^m27 de côté, et de 0^m45 à 0^m50 de hauteur. L'ouverture des portes est égale à la section transversale du four et de même figure.

Ces fours sont accolés et réunis au nombre de vingt dans un même massif; ils sont construits en briques ordinaires, à l'exception des cintres des portes, qui sont en briques réfractaires.

La charge de chaque four est de 25 hectolitres de houille; mais au lieu de se faire par les deux portes comme dans les fours elliptiques, elle n'est introduite que par la porte la plus élevée au-dessus du sol. Du reste, la carbonisation s'y pratique comme dans les fours elliptiques, à cela près qu'on n'est pas dans l'usage de mouiller la houille. Le défournement s'opère du côté de la porte la plus basse, par un moyen plus prompt et moins fatigant pour les ouvriers que celui précédemment décrit. Voici en quoi il consiste : les portes étant enlevées, on place dans l'ouverture de la porte supérieure, perpendiculairement à la sole et tout près du coke, un cadre

en fer dont la forme est la même que celle de la section du four, mais de dimensions un peu moindres, afin qu'il puisse passer facilement dans toute sa longueur. Ce cadre est percé, tout près de sa base, de quatre trous par lesquels on introduit sous le coke quatre ringards un peu plus longs que la sole, et percés à chaque extrémité pour recevoir des clavettes. On place ces clavettes du côté où l'on a mis le cadre, et on pousse les ringards jusqu'à ce que les clavettes le touchent. Les barres dépassant l'ouverture du côté opposé, on les fait entrer aussi dans un cadre tout semblable, que l'on arrête encore au moyen de clavettes; de cette manière, le coke repose sur les barres et se trouve compris entre les deux cadres. Aux clavettes antérieures ou du côté de la porte la moins élevée, on fixe quatre doubles crochets qui se rattachent à une chaîne unique, laquelle, passant elle-même sur une poulie fixée au sol en avant de chaque four, va s'enrouler sur un cabestan. Un cheval, en faisant tourner ce cabestan, tire tout le coke hors du four.

Cette manœuvre assez simple épargne aux ouvriers le travail le plus pénible, et permet d'en employer un moindre nombre; 8 à 9 ouvriers suffisent pour conduire les vingt fours.

Aussitôt que le coke est défourné, on referme la porte inférieure et on recharge le four par l'autre porte; pendant ce temps on jette de l'eau sur le coke pour l'éteindre.

Le coke que l'on obtient dans ces fours est moins compacte ou plus léger que celui qui provient de la même houille carbonisée en tas. L'hectolitre ne pèse moyennement que 36 kilogrammes; cela provient sans doute de ce que la houille n'étant pas mouillée et l'opération marchant avec plus de rapidité au commencement, le boursouflement est plus considérable que dans les meules; quant à l'augmentation de volume qui en résulte, elle est à peu près la même que celle observée à Rive-de-Gier, et les 100 hectolitres de houille rendent également de 120 à 122 hectolitres de coke.

La main-d'œuvre de carbonisation, au Creusot, est un peu moindre qu'à Rive-de-Gier; elle est de 13 à 14 centimes par 100 kil. de coke.

Observations sur la carbonisation de la houille.

La houille menue n'est pas la seule qui puisse être carbonisée en fours, et ce mode est également applicable à la houille en gros et moyens fragmens, seulement l'opération doit être conduite un peu différemment. Dans

ce cas, comme il faut nécessairement faire fendiller promptement les morceaux pour faciliter le dégagement du soufre et du bitume, on procède tout de suite par une combustion rapide, en sorte que l'on commence par la seconde période précédemment décrite, pour suivre ensuite la marche indiquée jusqu'à la fin de l'opération. Si l'on traite de la houille très grasse, il faut, lorsque la masse est embrasée et que l'on commence à apercevoir des boursouflemens à la surface, ralentir un peu la combustion en laissant moins d'accès à l'air; sans cette précaution, on aurait un coke spongieux, peu ferme, faisant un déchet plus considérable et développant moins de chaleur.

Le même effet peut avoir lieu avec des houilles grasses menues, surtout lorsqu'elles n'ont pas été mouillées, et il faut avoir la même attention au commencement de la seconde période, sans quoi il arrive, comme au Creusot, que l'on obtient du coke moins dense que par la carbonisation à découvert.

En carbonisant de la houille en gros ou moyens fragmens, on obtient du coke en masses aussi considérables qu'en traitant de la houille menue de même quantité, parce que les morceaux s'agglutinent et se soudent pendant l'opération. Le coke est en général de meilleure qualité et plus pur.

Le mode de carbonisation à employer dépend de la qualité des houilles; et, à cet égard, l'expérience a appris que lorsque la houille est peu grasse et de qualité variable, on doit préférer la carbonisation en fours couverts; que si la houille est grasse et peu pyriteuse, cette méthode est encore préférable, parce qu'elle donne un coke de bonne qualité, à moins de frais; qu'enfin, lorsque la houille, maigre ou grasse, est très pyriteuse, il est plus avantageux d'opérer en tas ou en fours découverts.

Ces deux derniers procédés méritent cependant la préférence dans tous les cas, lorsqu'on n'a pour but que d'obtenir un coke léger, sans avoir égard aux déchets considérables qu'ils occasionent. La houille maigre ne devrait jamais être carbonisée en fours couverts, parce qu'elle donne un coke dur, pesant, et très difficilement inflammable.

Quant à ces fours, il est bien reconnu que ceux qui ont deux portes opposées sont plus faciles à conduire, et donnent des produits plus égaux que les fours à une seule porte. Dans ceux-ci, l'air n'entrant que par un côté, l'opération marche plus vite aux environs de cet endroit que vers le fond du four et sur son pourtour; ensorte qu'il arrive souvent, et surtout

dans les grands fours circulaires, qu'une même opération donne du coke sur-carbonisé et du coke noir à peine dessoufré et privé de bitume.

Du reste, un avantage commun à tous les fours, c'est qu'ils exigent moins de surveillance, et que le travail des ouvriers est moins pénible et plus facile que dans tout autre mode de carbonisation.

Lorsqu'on carbonise à découvert, le poids du coke est beaucoup plus variable que lorsqu'on opère en fours. Ainsi il a été reconnu, par de fréquentes vérifications sur des cokes de bonne qualité, éteints par une légère aspersion d'eau, que le poids du coke fait à découvert, en tas ou en meule, varie de 320 à 380 kil. le mètre cube, tandis que le poids du coke fait en four, avec les mêmes quantités de houille, ne varie que de 400 à 430 kil. La variation et la différence du poids s'expliquent aisément par le mode et la conduite des opérations.

Les poids les plus élevés indiqués ci-dessus ne sont pas les limites de ceux que l'on peut obtenir par ces deux modes de carbonisation : les houilles maigres donnent des poids beaucoup plus considérables; et M. Karsten rapporte, dans son ouvrage sur la Métallurgie du Fer, que, dans des essais comparatifs faits à Gleiwitz, dans la haute Silésie, on a obtenu du coke fabriqué en meules pesant 478 kil. le mètre cube, et du coke fait dans des fourneaux distillatoires pesant jusqu'à 515 kil.

La fabrication du coke en vaisseaux clos et disposés pour recueillir le noir de fumée et les autres produits, serait la plus avantageuse, si l'on n'avait égard qu'à la quotité du combustible obtenu; mais l'expérience a démontré que ce coke provenant de distillation n'est pas propre au traitement des minerais de fer, et convient même peu à la seconde fusion des fontes (1).

La carbonisation en meules ou en tas est celle que l'on pratique encore le plus généralement en Angleterre; mais cela tient surtout au bas prix de la houille, et à ce que, dans le plus grand nombre de localités, on carbonise sur le lieu même de l'exploitation. Il est probable que lorsque le prix de la houille sera plus élevé qu'il ne l'est aujourd'hui, on adoptera aussi les procédés plus économiques d'opérations en fours.

(1) Essais prolongés et faits en grand par M. Walter, à l'usine de Vienne (Isère), avec des cokes provenant d'une fabrique de noir de fumée établie à Côte-Thiollière, près Saint-Étienne (Loire).

Conservation du charbon et du coke.

Les charbons de bois, au sortir des fauldes, absorbent fortement l'humidité, et souvent ils retiennent 10, 20 et même 30 pour 100 d'eau. S'ils y restent exposés trop long-temps, leur poids peut quadrupler et même quintupler.

La quantité d'eau qu'ils retiennent, selon qu'elle est plus ou moins considérable, influe d'une manière avantageuse ou nuisible sur leur emploi. Ainsi il est bien constaté par l'expérience que les charbons de bois récemment fabriqués produisent moins d'effet que ceux qui ont été exposés quelque temps à l'action réunie de l'air et de l'humidité; c'est-à-dire que, pour obtenir un même produit, il faut consommer plus de charbon frais que de charbon qui a séjourné pendant un certain temps en magasin.

On ne sait pas bien jusqu'à quelle limite l'humidité est favorable à l'effet des charbons. M. Walter a fait à cet égard quelques observations qui prouvent que des charbons conservés pendant sept à huit mois, et contenant 15 à 18 pour 100 d'eau, sont encore d'un très bon usage. Mais, d'après un essai en grand fait aux forges de Beauchamp, en décembre 1809, il est probable qu'ils peuvent, sans inconvénient, en renfermer une plus grande quantité, puisque des charbons conservés pendant deux ans donnèrent des résultats plus avantageux et plus économiques que du charbon frais.

Les charbons fortement imprégnés d'humidité sont très nuisibles à la fusion des minerais, si l'on n'a soin de les mélanger avec d'autres récemment sortis des meules. S'ils ont séjourné à l'air, et ont été pénétrés par les eaux de pluie, ils sont complétement détériorés, et ne peuvent plus servir, parce qu'ils se réduisent en poudre, éclatent en menus fragmens au contact de la chaleur, et dérangent totalement la marche des fourneaux.

Il faut donc abriter les charbons, et ne les employer qu'après un ou deux mois de séjour en magasin, pour en obtenir un effet plus considérable et plus économique.

Les magasins à charbon, que l'on désigne ordinairement sous le nom de *halles* ou *charbonnières*, doivent être établis sur un terrain sec, près des fourneaux ou des forges, mais du côté exposé au vent qui règne le plus ordinairement, pour les mieux garantir des étincelles qui pourraient les incendier. Afin de les remplir facilement, il faut faire leur toiture à une seule pente, et les adosser autant que possible à un terrain élevé, en prenant les précautions convenables contre les infiltrations d'eau.

La capacité des charbonnières dépend de la consommation des fourneaux et des approvisionnemens plus ou moins considérables que l'on est obligé de faire; néanmoins il est rarement nécessaire qu'elles doivent contenir plus de 1000 à 1500 mètres cubes de charbon. Il convient de leur donner peu de largeur, pour que le charbon roule moins loin et ne se brise pas autant, en augmentant leur longueur selon les besoins : 6 à 7 mètres de largeur, sur 25 de longueur et 6 de hauteur, sont des dimensions convenables. Enfin on doit les diviser en plusieurs parties par des murs, pour empêcher le feu de se communiquer de l'une à l'autre.

Les observations précédentes s'appliquent aussi au coke : ainsi, comme le charbon de bois, il absorbe promptement l'humidité, et doit être abrité sous des hangars. Le coke, au sortir de la carbonisation, lorsqu'il est éteint par étouffement, est aussi d'un usage moins avantageux que celui qui a séjourné quelques semaines en magasin; mais il ne peut, en général, se conserver aussi long-temps que le charbon de bois, et d'après des observations suivies sur la marche des fourneaux de Vienne (Isère) et de Lavoulte, il paraîtrait qu'après trois ou quatre mois de séjour dans les halles, il commence à se détériorer; il est certain du moins qu'il devient beaucoup plus friable, et qu'il occasionne de plus forts déchets.

Le coke éteint par aspersion peut être employé immédiatement, à raison sans doute de la petite quantité d'eau qu'il retient. Des expériences faites avec soin, par M. Walter, établissent que cette quantité varie de 3,74 à 7,53 pour 100, et qu'elle est moyennement d'environ 6 pour 100, ce qui est trop peu considérable pour nuire en rien à la marche des opérations métallurgiques. Le même coke, quoique bien couvert, conservé pendant un automne un peu pluvieux, contenait 23 pour 100 d'eau; et un mois après, il en contenait 30 à 31 pour 100. Il est facile de concevoir qu'une si forte dose d'humidité peut nuire à l'emploi de ce combustible.

Concluons de là que le coke, pour faire un usage avantageux, doit être employé presque au fur et à mesure de la carbonisation, et ne séjourner que peu de temps dans les halles.

Déchets. Les déchets des charbons de bois dans les halles varient de 12 à 16 pour 100, selon qu'ils sont plus ou moins durs; et ceux du coke, à raison du cassage qu'il faut lui faire subir pour l'employer, sont moyennement de 12 pour 100.

SECTION II.

FUSION DES MINERAIS.

APPAREILS EMPLOYÉS ET MODE D'OPÉRATION.

La fusion des minerais en grand s'opère par des moyens analogues à ceux qui ont été indiqués pour les essais. Les minerais et fondans, concassés et mélangés en proportions convenables, sont mis en contact direct soit avec du charbon de bois, soit avec du coke; et ces combustibles en ignition fournissent à la fois l'agent réductif et la température nécessaire pour fondre toutes les matières. On active la combustion en faisant traverser la masse de ces matières par un fort courant d'air.

Les appareils employés à la fusion des minerais de fer pour produire la fonte doivent satisfaire aux conditions suivantes :

1°. Que les minerais puissent être soumis à l'action continue des gaz *carbonés* résultant de la combustion; et que ces gaz, qui sont les principaux agens réductifs, soient produits en abondance, et dans les conditions les plus favorables à leur action (1);

2°. Que la réduction s'opère lentement et par une chaleur graduée; l'expérience ayant démontré que, sans cela, les oxides entrent en fusion avant leur désoxidation complète, et restent dans les laitiers, d'où résulte une perte plus ou moins considérable dans les produits;

3°. Qu'après la réduction achevée, les minerais rencontrent une température très élevée, pour favoriser les combinaisons nécessaires à la formation de la fonte, opérer leur fusion, et par suite, la séparation des parties métalliques;

4°. Que ces parties métalliques soient conservées à l'état liquide, afin qu'elles puissent se rassembler et s'écouler hors de la capacité qui les contient.

(1) Des expériences faites à l'École pratique de Moustier ayant appris que l'hydrogène carboné était un puissant réductif, on en avait conclu et l'on avait admis que le gaz oxide de carbone et les autres gaz carbonés agissaient d'une manière semblable. Les expériences récentes de M. Le Pélet justifient en tout point cette opinion, répandue depuis long-temps parmi les métallurgistes, et tendent, de plus, à prouver que les gaz seuls opèrent la désoxidation.

Un fourneau élevé et disposé comme l'indique la Pl. 8, *fig.* 2 et 3, est le seul appareil qui, jusqu'à présent, satisfasse entièrement à ces conditions.

Les fourneaux de ce genre sont désignés sous le nom de *hauts-fourneaux*. Les parties qui composent leur capacité intérieure sont, à partir du bas : le *creuset ab, ab;* l'*ouvrage bc, bc;* les *étalages cd, cd;* le *ventre de, de,* et la *cuve ef, ef,* dont l'ouverture supérieure *ff* se nomme *gueulard*.

Quelquefois l'ouvrage et les étalages se confondent, en sorte que ces derniers ne sont que la prolongation de l'ouvrage, qui est alors plus évasé. La cuve repose souvent sur la base supérieure des étalages, et, dans ce cas, le *ventre* désigne seulement la plus grande section du fourneau.

Une cheminée *fh, fh* surmonte la cuve pour donner issue aux produits de la combustion, et protéger les ouvriers contre la flamme et la chaleur; des ouvertures ou *portes de chargement ik, ik,* y sont ménagées pour introduire les matières dans le fourneau.

A la base de l'ouvrage, au-dessus du plan supérieur *bb* du creuset, sont pratiqués un ou plusieurs orifices *o*, dans lesquels sont placés des espèces de tuyaux coniques ou pyramidaux *t, t,* que l'on nomme *tuyères*. Ces tuyères servent à introduire dans le fourneau l'air destiné à alimenter la combustion, et à lui donner une direction convenable.

L'air ou le *vent* est fourni par une machine soufflante S, *fig.* 1, qui le chasse par les conduits ABC dans un réservoir R, où il se comprime; de là il passe dans la conduite principale de tuyaux DEF, se distribue dans les *porte-vent* IKP, d'où, par les tuyaux L, auxquels sont adaptées des *buses,* il arrive dans le fourneau par les tuyères.

Pour opérer la fusion, après avoir mis en feu comme on l'indiquera plus loin, on remplit le fourneau de couches alternatives de combustible et de minerais mélangés aux fondans, et l'on donne le vent.

L'opération, une fois en train, marche alors ainsi qu'il suit : le gueulard étant le point le plus éloigné des tuyères, c'est là que règne la moins haute température; le minerai s'échauffe et se prépare à la réduction, qui s'effectue surtout par l'action des gaz carbonés qui traversent les matières.

A mesure que la fusion s'opère à la partie inférieure, ces matières descendent, et acquièrent successivement une plus haute température en se rapprochant du foyer. Pendant ce temps, chaque morceau de minerai se réduit ou se désoxide progressivement, depuis la surface jusqu'au centre, et les molécules de fer à l'état métallique commencent à se *carburer,* c'est-à-dire à se combiner avec le *carbone* ou charbon pur. On favorise ces

combinaisons en augmentant la capacité de la cuve, et de cette disposition résulte qu'elles s'opèrent à la fois sur une plus grande quantité de minerai, et que le fourneau ne peut acquérir une température trop élevée, laquelle serait nuisible à l'opération, en la précipitant.

Arrivées au ventre, les matières approchent de leur point de fusion : pour l'opérer, il faut concentrer de plus en plus la chaleur, et la porter en quelque sorte sur un seul point. C'est ce qu'on obtient en rétrécissant le fourneau au moyen des étalages, qui, en outre, retiennent les matières, et les empêchent de descendre trop vite dans l'ouvrage.

Dans l'ouvrage, les matières se ramollissent; les combinaisons nécessaires à leur fusion achèvent de s'opérer, si elles ne le sont déjà; et lorsque enfin elles sont arrivées sous le vent des tuyères, la liquéfaction a lieu, et elles tombent en fusion dans le creuset : là, elles se séparent par ordre de densité ou de pesanteur, la fonte dans le fond, les laitiers en dessus; et le tout est maintenu liquide par la haute température développée dans l'ouvrage.

Afin que l'on puisse faire écouler du creuset la fonte et les laitiers qu'il contient, il est oblong, et vient aboutir dans l'embrasure de devant du fourneau, Pl. 8, *fig.* 3. La *fig.* 2, Pl. 9, dans laquelle *aa* représente, en plan, un creuset entièrement découvert, fait voir cette disposition. La *fig.* 5, qui est une coupe verticale faite suivant la ligne *uv*, montre de quelle manière est établie la communication de l'intérieur du fourneau à la partie antérieure du creuset. Elle consiste à soutenir la paroi de l'ouvrage, de ce côté, par une espèce de plate-bande *gb*, *gb*, *fig.* 5, et, en plan, *fig.* 6, qui traverse la largeur du creuset. Cette plate-bande se nomme la *tympe*, et l'on désigne sous le nom d'*avant-creuset* la partie extérieure *a'* du creuset.

Pour retenir les matières en fusion, on ferme l'avant-creuset par une pièce *i*, *fig.* 5 et 6, que l'on nomme *dame* (du mot allemand *damm*, qui signifie digue), et l'on conserve près du fond, entre la dame et l'un des côtés du creuset, une ouverture de 6 à 8 centimètres, qu'on bouche avec de la terre grasse réfractaire, et que l'on nomme trou de *coulée*.

Les laitiers recouvrant la fonte s'élèvent successivement jusqu'au-dessous de la tympe, et s'écoulent d'eux-mêmes par-dessus la dame, ainsi qu'on le voit en *u*, Pl. 8, *fig.* 3. Lorsque le creuset est suffisamment rempli de fonte, on procède à la *coulée* en débouchant le trou de coulée; après quoi, on le rebouche, et la fusion se continue comme il a été expliqué précédemment.

On remplace successivement au gueulard les couches de matières qui descendent, en sorte que le fourneau étant toujours plein, l'opération est *continue,* et s'effectue toujours dans les mêmes conditions.

On a essayé d'opérer la réduction des minerais de fer dans des fours à réverbère analogues à ceux que l'on emploie pour refondre les fontes; mais jusqu'ici on n'a pu obtenir de résultats satisfaisans. La réduction y est toujours fort incomplète, d'où résulte un très grand déchet dans les produits; la consommation de combustible hors de toute proportion, ce qui rend l'opération excessivement dispendieuse, alors même qu'on pourrait réduire tout le minerai; la fusion trop rapide pour qu'il soit possible d'obtenir de la fonte grise, et même de bonne fonte blanche; enfin, non seulement la réduction et la fusion ne peuvent être continues, mais encore elles ne peuvent s'opérer constamment dans les mêmes circonstances.

Dans ces fourneaux, les matières à fondre sont placées sur une aire ou sole : la flamme et l'air en partie brûlé qui s'échappe du foyer les frappent par-dessus, et ne peuvent les traverser. La première et la plus essentielle condition d'une bonne réduction ne peut donc être satisfaite, et la seconde ne l'est que très imparfaitement, en sorte qu'il y a peu de probabilité de succès avec ces appareils, qui d'ailleurs remplissent très bien les deux autres conditions.

RÉSULTATS D'EXPÉRIENCE.

La fonte que l'on obtient dans les hauts-fourneaux varie en quantité et en qualité, non seulement suivant la nature des minerais, la qualité et la quantité des combustibles et fondans employés, mais encore suivant la grandeur et la proportion des fourneaux, la masse d'air introduite dans leur intérieur, et beaucoup d'autres circonstances dépendant de la conduite du travail.

Parmi toutes les causes qui influent sur la consommation de combustible et sur la production, il est surtout important de connaître celles qui dérivent de l'établissement des fourneaux et des machines soufflantes, parce qu'elles sont en quelque sorte permanentes, réagissent sur toute la durée d'une usine, et ne peuvent être souvent modifiées qu'à grands frais.

Jusqu'à présent, on n'a eu à cet égard que des données fautives ou incohérentes, et l'on n'a pu procéder que par analogie ou par tâtonnement dans le plus grand nombre de cas. Cette absence de renseignemens pour

régler les dimensions les plus avantageuses à donner aux fourneaux, et les quantités d'air à leur fournir, formait, dans l'art de fabriquer la fonte, une lacune importante que M. Walter a essayé de remplir, en s'appuyant sur un assez grand nombre d'observations faites avec soin sur des hauts-fourneaux au charbon de bois et au coke (1).

Afin de rendre plus concis et plus clair l'énoncé des résultats auxquels il est parvenu, ce métallurgiste nomme *produits relatifs* ou *proportionnels* ceux qui, pendant un même temps, correspondent à chaque *mètre carré* de la surface du ventre d'un fourneau, déterminée par une section horizontale; *quantités relatives d'air*, celles lancées dans un même temps pour la même unité de surface; *consommation relative* de charbon, celle nécessaire pour produire 100 kil. de fonte; *produits et consommations absolus*, les produits et consommations par vingt-quatre heures. Il désigne par le mot de *section* la surface correspondante au ventre d'un fourneau.

Voici quels sont ces résultats :

Fourneaux au bois.

Produits. 1°. Dans un même fourneau ou dans des fourneaux de mêmes dimensions, et alimentés des mêmes combustibles et minerais, le produit absolu augmente avec la quantité d'air lancée, jusqu'à certaine limite, au-delà de laquelle il n'y a plus d'accroissement, quelle que soit la quantité d'air.

2°. A hauteur égale et sections différentes, si les quantités d'air sont proportionnelles à ces sections, les produits absolus sont à peu près aussi dans le même rapport; d'où résulte que si les quantités relatives d'air sont les mêmes, les produits relatifs sont aussi à peu près les mêmes.

3°. A hauteur égale et sections différentes, les produits relatifs sont à peu près entre eux comme les quantités relatives d'air, jusqu'à la limite

(1) Ces observations portent sur soixante-quinze hauts-fourneaux au bois, de diverses contrées de France, d'Allemagne, de Styrie, de Carinthie, de Suède et de Sibérie, et sur vingt-deux fourneaux au coke, de France, d'Angleterre et de Belgique. Je me proposais de les réunir dans divers tableaux disposés de manière à faire ressortir les résultats; mais ce travail devenant trop long et trop compliqué pour trouver place dans un résumé pratique, j'ai cru devoir me borner à en présenter les conséquences. Je dois faire observer, du reste, que les chiffres auxquels je suis parvenu ne sont peut-être pas établis sur un nombre suffisant d'observations, et que des recherches plus étendues pourront y apporter quelques changemens, mais que cependant ils paraissent s'écarter peu des limites les plus avantageuses, et peuvent du moins être employés sans inconvénient. WALTER.

correspondante au *maximum* de produit; en sorte qu'il peut arriver qu'un fourneau très large, mal alimenté d'air, produise moins de fonte qu'un fourneau de section moindre, recevant une quantité d'air convenable.

4°. Toutes choses égales d'ailleurs, le produit augmente un peu avec la hauteur du fourneau, jusqu'à certaine limite, qui semble dépendre principalement de la nature du combustible. Il parait toutefois que cet effet n'a lieu qu'autant que le fourneau aurait été primitivement trop bas, ou qu'il y aurait eu dans le principe un certain excès de vent; et ce qui tend à confirmer cette observation, c'est qu'il arrive quelquefois qu'en surélevant un fourneau, on diminue ses produits, parce qu'alors on entrave la circulation de l'air au travers des matières, surtout si elles sont de nature à se comprimer.

5°. A section égale et hauteurs différentes, les produits relatifs sont encore entre eux comme les quantités relatives d'air. Dans ce cas, il arrive très fréquemment que les plus forts produits relatifs ne correspondent pas aux plus grandes hauteurs, ce qui vient encore à l'appui de l'observation précédente.

6°. Le produit relatif d'un fourneau dépend plus de la quantité relative d'air qu'il reçoit que de sa largeur et de sa hauteur : ainsi l'on voit, par les tableaux de Marcher, qu'un fourneau de 19 pieds de hauteur sur 80 pouces de largeur au ventre, bien alimenté d'air, produisait proportionnellement plus qu'un autre fourneau de 30 pieds de hauteur sur 96 pouces de largeur, recevant une moindre quantité relative d'air, les minerais étant les mêmes. Si le fourneau le plus large et le plus élevé reçoit trop peu d'air, il peut même arriver que le produit absolu de ce fourneau soit le moins considérable.

7°. En définitive, le produit absolu d'un haut-fourneau dépend donc principalement de sa largeur au ventre et de la quantité d'air qu'il reçoit; et la hauteur n'exerce qu'une faible influence, en admettant toutefois qu'elle soit à peu près bien réglée pour la nature des matières employées.

8°. Pour des minerais à peu près également fusibles, le plus fort produit relatif est donné par le minerai ou par le mélange de minerais le plus riche, l'air étant d'ailleurs fourni en quantité convenable.

9°. Pour obtenir le *maximum* de produit, il faut que la hauteur du fourneau soit d'autant plus considérable que le minerai est moins fusible et que le combustible est plus dense, c'est-à-dire plus lourd sous un même volume.

Vent. 1°. La quantité d'air que doit recevoir un haut-fourneau, pour

marcher dans les circonstances les plus favorables à la production et à l'économie, peut varier de 300 à 375 pieds cubes par minutes et par mètre carré de section; soit 10^{m}285 cubes à 12^{m}845 cubes, l'air étant ramené à la densité de l'atmosphère.

2°. En restant trop au-dessous de ces limites, on diminue le produit des fourneaux, et on augmente la consommation relative de combustible. Toutefois les fourneaux très larges permettent de s'en écarter davantage, parce que sans doute la masse du combustible maintient la température plus élevée.

3°. En donnant un trop grand excès de vent, on augmente la consommation de charbon sans augmenter le produit, parce qu'une partie du combustible est employée en pure perte à élever la température de l'air lancé en excès.

Combustible. 1°. Quelle que soit la grandeur d'un haut-fourneau, la consommation de combustible paraît surtout dépendre de sa section au ventre, et de la quantité d'air qu'il reçoit.

2°. Lorsqu'un fourneau marche dans les circonstances les plus favorables, c'est-à-dire en recevant un quantité relative d'air de 300 à 375 pieds cubes par minute, la quantité de charbon brûlé, *par heure et par mètre carré de section,* est environ de 80 à 100 kilogrammes; soit des 1^{k},33 à 1^{k}66 par minute sur la même surface.

3°. Il résulte de la comparaison de ces nombres que la quantité d'air correspondante à la combustion complète d'un kilogramme de charbon, dans les hauts-fourneaux, est, en moyenne, de 225 pieds cubes (7^{m}695 cubes).

4°. Les consommations relatives de combustible augmentent à mesure que les minerais sont plus riches et moins fusibles. Sans pouvoir établir exactement ces consommations, on peut en fixer les limites à peu près comme suit, dans le cas de marche la plus avantageuse :

Pour minerais fusibles, rendant...........	25 à 30 p. 100	66 à 90	
	30 à 35	90 à 110	
	35 à 40	120 à 130	
Pour minerais moyennement fusibles, rendant	30 à 40	110 à 140	de charbon pour
	40 à 50	140 à 180	100 de fonte en
	50 à 60	180 à 210	poids.
Pour minerais difficilement fusibles, rendant	30 à 40	160 à 200	
	40 à 50	210 à 250	
	50 à 60	250 à 300	

On trouve dans les tableaux de Marcher des fourneaux dans lesquels on consommait jusqu'à 500 de charbon pour 100 de fonte, avec des minerais réfractaires; mais on voit aussi que ces fourneaux ne recevaient qu'une faible quantité d'air.

Dans le tableau précédent, les limites inférieures de consommation sont, en général, applicables au travail en fontes blanches et truitées, et les limites supérieures au travail en fontes grises.

5°. Toutes choses égales d'ailleurs, les consommations relatives de combustible sont plus grandes dans les fourneaux bas que dans les fourneaux élevés, pourvu que ceux-ci ne dépassent pas les limites d'élévation convenables.

6°. En rallentissant la descente des charges, on diminue la consommation relative de charbon.

Fourneaux au coke.

Produits. Toutes les conséquences déduites des observations faites sur les hauts-fourneaux au charbon de bois sont applicables aux fourneaux à coke.

Vent. 1°. Les fourneaux observés reçoivent des quantités relatives d'air moins considérables que les fourneaux au charbon. La plupart ne reçoivent pas au-delà de 160 à 190 pieds cubes par minute et par mètre carré de section; la moyenne, sur 21 fourneaux, est de 180 pieds cubes, et cette quantité parait suffisante pour leur imprimer une marche régulière.

2°. Cette quantité moyenne d'air n'est pas celle qui donne le *maximum* de produits; car le fourneau de Seraing (Belgique), qui reçoit 270 pieds cubes d'air (quantité relative), donne de plus forts produits relatifs qu'aucun des autres fourneaux observés, traitant même des minerais plus fusibles; et il est probable qu'en augmentant le vent, on obtiendrait encore davantage, ainsi que cela a lieu dans les fourneaux au charbon de bois.

3°. Il paraitrait, d'après ces observations, que la quantité relative d'air de 180 pieds cubes doit être considérée, pour les fourneaux au coke, comme une moyenne au-dessous de laquelle il ne faudrait pas descendre.

Combustible. 1°. Comme pour les fourneaux au charbon de bois, la consommation du combustible dans les fourneaux à coke ne parait dépendre que de leur section au ventre, et de la quantité d'air qu'ils reçoivent.

2°. Avec la quantité relative moyenne de 180 pieds cubes d'air par minute, la quantité de coke brûlée par heure et par mètre carré de sec-

tion est, moyennement, de 49 kil.; soit de 0^k82 par minute sur la même surface. A Seraing, avec 270 pieds cubes d'air, le fourneau brûle 75 kil. par heure; soit 1^k25 par minute.

3°. D'après ces nombres, la quantité d'air correspondante à 1 kil. de coke, dans les hauts-fourneaux, est de 216 à 220 pieds cubes, quantité peu différente de celle trouvée pour le charbon de bois, et qui annoncerait que la combustion se fait à peu près de même dans les fourneaux, quelle que soit la nature du combustible.

4°. Avec les quantités d'air ci-dessus, les consommations relatives de combustible sont à peu près comme suit :

Minerais fusibles.................	180 à 210 de coke pour 100 de fonte.
Minerais moyennement fusibles.....	210 à 260
Minerais difficilement fusibles......	260 à 300

Même observation, quant à l'emploi des limites, que pour les fourneaux au charbon, et, en outre, les paragraphes 5 et 6 sont encore applicables ici.

Observation. Puisque la combustion se fait à peu près de même dans les fourneaux au bois et au coke, il est présumable que le *maximum* de produits doit être obtenu dans les mêmes circonstances; et qu'ainsi les fourneaux au coke devraient aussi recevoir de 300 à 375 pieds cubes d'air par minute et par mètre carré de section, pour donner le *maximum* de produits. Peut-être en résulterait-il également des consommations relatives moindres. C'est une amélioration qu'il est facile d'essayer dans les usines où il existe plusieurs fourneaux, en n'en faisant marcher que le nombre nécessaire pour que chacun d'eux reçoive la quantité d'air présumée la plus convenable.

Données relatives à la marche des fourneaux.

Pression du vent. Les diverses qualités de charbon et de coke ne brûlent pas avec une égale facilité, et, toutes choses égales d'ailleurs, les combustibles brûlent d'autant moins facilement qu'ils ont plus de densité : ainsi le charbon de chêne est plus difficile à enflammer que le charbon de peuplier, et le coke compacte et lourd plus que le coke léger et boursouflé.

Pour obtenir une combustion active et une température élevée dans les hauts-fourneaux, il faut dès lors que le combustible soit traversé par un courant d'air d'autant plus rapide que ce combustible est plus dense.

Cette rapidité du vent s'obtient en comprimant l'air au moyen de machines soufflantes; et la pression de l'air s'estime soit par le poids auquel elle peut faire équilibre, soit par la hauteur à laquelle elle peut soutenir le mercure dans un tube. Le poids ou les hauteurs des colonnes de mercure faisant équilibre aux pressions convenables sont :

	Poids par pouce carré.	Hauteur de mercure.
Pour charbons de bois tendres...........	$\frac{1}{3}$ à $\frac{1}{2}$ livre....	2 à 3 centimètres.
Pour charbons de bois résineux..........	$\frac{1}{2}$ à $\frac{3}{4}$	3 à 4
Pour charbons de bois durs.............	$\frac{3}{4}$ à 1 $\frac{1}{4}$	4 à 6
Pour coke léger........................	1 $\frac{1}{2}$ à 2 $\frac{1}{2}$	8 à 13
Pour coke dur et compacte..............	2 $\frac{1}{2}$ à 3 $\frac{3}{4}$	13 à 19

Les mots *poids par pouce carré* signifient que si l'on pratique, dans les parois d'un récipient contenant de l'air comprimé, une ouverture d'un pouce carré, il faudra, pour contenir cet air, appliquer sur l'ouverture l'un des poids indiqués.

Les charbons qui ont absorbé un excès d'humidité, mais de manière cependant à pouvoir servir encore aux travaux métallurgiques, exigent des pressions un peu plus considérables.

En été, l'air étant raréfié par la chaleur, il faut qu'il soit chassé sous une pression plus grande, afin d'en fournir la quantité nécessaire; ou, si l'on conserve la même pression, il faut donner plus d'ouverture aux buses.

Laitiers. Pour obtenir une marche avantageuse et économique de haut-fourneau, il ne suffit pas d'avoir réglé convenablement la quantité d'air, il faut encore que la proportion de matières stériles provenant soit des gangues, soit des fondans, produise des laitiers en abondance et qualité convenables.

Le minerai entrant en fusion dans l'ouvrage, le traverse, tombe goutte à goutte dans le creuset; et, pendant ce trajet, il est exposé à l'action du vent. Si les matières stériles, et, par suite, les laitiers, sont en quantité suffisante pour que chaque goutte métallique en soit bien enveloppée, le vent ne peut l'atteindre; elle conserve le carbone avec lequel elle s'est combinée, et tombe dans le creuset à l'état de fonte grise; si, au contraire, les laitiers ne sont pas assez abondans, les gouttes de fonte n'étant plus suffisamment protégées par le vent, perdent une partie de leur carbone, et tombent dans le creuset à l'état de fonte blanche, ou même à celui de fonte *demi-affinée,* c'est-à-dire commençant à se convertir en fer.

La consistance convenable des laitiers, pour qu'ils adhèrent aux gouttes de fonte et les protégent contre l'action du vent, est celle du verre en fusion.

Quant à leur quantité, Duhamel dit que le volume des laitiers doit être de quatre à cinq fois celui de la fonte; mais ce rapport est beaucoup trop faible, et doit être tout au plus considéré comme un *minimum*, malgré l'assertion contraire de Karsten, qui le trouve exagéré. Une observation constante prouve en effet que, dans les fourneaux en bonne marche, le volume des laitiers varie entre dix et quinze fois celui de la fonte.

M. Walter a déduit des roulemens de divers fourneaux, tant au coke qu'au charbon de bois, les résultats ci-après, qui prouvent que la quantité des laitiers doit varier selon la nature de fonte à produire.

1°. Fourneaux à coke produisant de la fonte grise pour moulage.

A Dudley (Staffordshire), pour 100 de fonte en poids, on charge 234 de minerai grillé. Admettant (1) qu'il faille 140 de fer oxidé pur pour en produire 100 de fer métallique, il en résulte que les 234 de minerai grillé contiennent :

En matières stériles	94
On ajoute en fondant calcaire	140
Matières stériles, pour 100 de fonte	234

Autre usine du même pays, pour 100 de fonte, minerai grillé 270, contenant :

En matières stériles	130
Castine ajoutée	143
Total en matières stériles	273

Pays de Galles, fonte grise à grain fin, pour 100 de fonte, minerai grillé 300, contenant :

En matières stériles	160
Castine ajoutée	100
Total en matières stériles	260

Aux usines de Lavoulte (Ardèche) et Vienne (Isère), d'après des obser-

(1) 100 parties pondérables de fer se combinent : dans l'oxidule, avec 29,47 d'oxigène; dans le fer magnétique ou tritoxide, avec 39,30; dans le peroxide, avec 44,25. On adopte ici la proportion moyenne de 40 d'oxigène pour 100 de fer, parce que les tritoxides et peroxides forment la plus grande masse des minerais traités.

vations continuées pendant neuf mois consécutifs, les roulemens en fonte grise exigent constamment de 247 à 266 de matières stériles, et il faut ajouter dans ce cas de 80 à 100 de castine pour 100 de fonte en poids.

2°. Fourneaux à coke produisant des fontes de forge blanches ou truitées.

A Wrockwordine (Shropshire), pour 100 de fonte truitée grise, minerai grillé 216, contenant :

En matières stériles	76
Castine ajoutée	100
Total en matières stériles	176

Autre usine de la même contrée, pour 100 de fonte truitée blanche et blanche, minerai grillé 200, contenant :

En matières stériles	60
Castine ajoutée	52
Total en matières stériles	112

A l'usine de Lavoulte, pour obtenir un fer de bonne qualité, la quantité de matières stériles ne peut varier que de 200 à 160. On a essayé de descendre jusqu'à 120 et même 100; mais alors on n'obtenait que des fontes blanches, boursouflées et sulfureuses, qui eussent bientôt obligé à arrêter les fourneaux, et donnaient un très mauvais fer.

3°. Fourneaux au charbon de bois, travaillant en fonte de moulage, tels que ceux de la majeure partie de la Franche-Comté (Doubs, Jura, Haute-Saône).

La quantité de matières stériles entrant dans les charges varie assez ordinairement de 220 à 270 pour 100 de fonte.

4°. Fourneaux au charbon, travaillant en fontes de forge blanches ou truitées, tels que ceux de Bourgogne (Côte-d'Or, Saône-et-Loire), de 110 à 160 de matières stériles pour 100 de fonte.

Dans tous les fourneaux observés, les meilleurs produits correspondent constamment à la plus forte quantité de matières stériles.

A ces matières s'ajoutent encore les cendres des combustibles, qu'on peut évaluer, en moyenne, à 25 pour 100 de fonte dans les fourneaux à coke, et à 10 dans les fourneaux au charbon de bois.

La masse des laitiers produits par les fourneaux en bon roulement serait donc, d'après ces observations :

De 259 à 298 pour 100 de fonte, pour les fourneaux à coke travaillant en fonte grise de moulage.

De 137 à 201, pour ces fourneaux travaillant en fontes de forge blanches et truitées.

De 230 à 280, pour les fourneaux au charbon en fonte grise.

Et de 120 à 170, pour les mêmes fourneaux travaillant en fonte de forge.

Ces données doivent être employées pour régler le dosage des fondans; seulement il faut observer que les fourneaux à coke en exigent d'autant plus que le combustible renferme plus de soufre, afin de le neutraliser.

Teneur des minerais. Garney avait déjà observé et posé en principe que les minerais ou mélanges de minerais ne doivent pas contenir plus de 45 à 55 pour 100 de métal, pour être traités avec avantage et donner de bons produits. Les essais faits par M. Walter, à Lavoulte, ont donné pour limites 43 à 47 pour 100. En Angleterre, on compose des mélanges rendant de 33 à 42 pour 100 pour le travail en fonte grise, et de 45 à 50 pour le travail en fonte de forge.

Dans les fourneaux de la Franche-Comté travaillant en fonte grise très douce, les minerais employés ne rendent pas au-delà de 25 à 30 pour 100; et dans la Bourgogne, les mélanges pour fonte de forge s'élèvent rarement à plus de 35 pour 100, bien qu'on pût, dans beaucoup de localités, les rendre plus riches.

Il est donc convenable de se renfermer dans ces diverses limites, suivant la nature de fonte que l'on veut produire.

En combinant ces données avec celles relatives aux laitiers et aux combustibles, on peut graduellement et à volonté mettre un fourneau en fonte grise ou en fonte de forge, ainsi que M. Walter l'a pratiqué à l'usine de Vienne (Isère).

Emploi de l'air chaud. Les résultats précédens ne sont applicables qu'à l'emploi de l'air pris à la température de l'atmosphère, tel qu'on l'a exclusivement employé jusqu'en 1820. On n'avait pas, jusqu'à l'époque de l'importante découverte de Neilson, en 1819, examiné quelle pouvait être l'influence de la température de l'air, et l'on croyait généralement que l'air le plus froid était le plus favorable à la marche des hauts-fourneaux. En considérant la masse d'air introduite, et observant que sa température s'élève nécessairement au même degré que celle des fourneaux, on verra facilement combien cette opinion était erronée.

En effet, il faut environ 8 mètres cubes d'air pour brûler 1 kil. de charbon; et dans les fourneaux au coke, par exemple, les autres matières étant à peu près égales en poids au combustible employé, il s'ensuit qu'on y

introduit 8 mètres cubes d'air pour 2 kil. de matières de toute nature. Le mètre cube d'air pesant 1k3, on introduit donc dans le fourneau environ 10 kil. d'air pour 2 de matières, c'est-à-dire environ cinq fois le poids de ces dernières.

Dans un fourneau consommant 40,000 kil. de matières par 24 heures, on lance donc 200,000 kil. d'air, lesquels absorbent non seulement une portion considérable de la chaleur développée par le combustible, et, par suite, obligent à en consommer davantage pour opérer la fusion; mais doivent encore amener beaucoup de variations dans la marche du fourneau, par les changemens de température de l'atmosphère.

La conclusion naturelle de ces faits, complétement vérifiée par l'expérience, est que l'air chaud, loin de nuire à la marche des fourneaux, doit la rendre plus facile et surtout plus régulière. On va voir qu'elle est aussi plus économique; aussi le procédé de Neilson, successivement amélioré par M. Makintosh, et par M. Philip Taylor, qui l'a introduit en France en 1831, est-il reconnu comme très avantageux, quoique, dans quelques usines, il n'ait pas complétement réussi.

Voici, comparativement aux fourneaux alimentés par de l'air froid, les résultats généralement obtenus en Angleterre pour les fourneaux au coke, l'air étant chauffé à la température du plomb fondant, soit à 322° centigrades environ :

1°. A temps égal, les produits sont augmentés de moitié en sus, la fusion s'opérant plus vite.

2°. La fonte obtenue est très grise, plus liquide et plus propre au moulage.

3°. La consommation totale du combustible, y compris celui qui est employé à chauffer l'air séparément, est moindre de deux cinquièmes à un tiers.

4°. La consommation de houille pour chauffer l'air, comprise dans la consommation totale, est de 350 à 400 kil. par tonne de fonte produite.

5°. La quantité d'air nécessaire est diminuée d'un quart, et sa pression d'environ un tiers; en sorte qu'une machine soufflante employée pour trois fourneaux à l'air froid, suffit pour quatre à l'air chaud, malgré l'accroissement de résistance dans les tuyaux de conduite, dû à l'élévation de température de l'air.

6°. L'emploi de l'air chaud permet de substituer la houille en nature au coke, pourvu que cette houille ne soit pas trop grasse; ou du moins

de la mélanger au coke en proportion assez considérable, qui, dans plusieurs usines, s'élève jusqu'aux trois cinquièmes en poids.

7°. Il produit une diminution d'environ un tiers dans le prix de revient de la fonte.

8°. En France, l'air chaud est déjà appliqué à plusieurs fourneaux à coke, tels que ceux de Vienne (Isère), Lavoulte (Ardèche), Terrenoire près Saint-Étienne (Loire), Alais (Gard), Firmy et Decazeville (Aveyron), etc. Partout les résultats ont été favorables, et ceux des fourneaux de Vienne et de Lavoulte s'accordent assez bien avec ceux qu'on vient de rapporter.

Dans les fourneaux au charbon de bois, le succès n'a pas été généralement aussi complet. A Wasseralfingen (Wurtemberg), on a obtenu une économie de 40 pour 100 sur le combustible, avec accroissement de près de moitié en sus dans les produits, outre qu'ils sont de meilleure qualité. A Torteron et à La Guerche (Cher), on n'a obtenu aucune économie importante de combustible; mais les produits ont gagné en quantité et en qualité.

A Malapane (Silésie prussienne), le travail à l'air chaud a réduit la consommation de combustible, pour une même quantité de fonte, dans le rapport de 21 à 17; et la fonte qu'on obtient est toujours très liquide et propre au moulage, ce qui n'avait pas lieu d'une manière constante dans le travail à l'air froid.

Enfin, dans tous les fourneaux, la quantité de fondans est moindre d'un quart à un tiers pour l'air chaud que pour l'air froid, et les laitiers, plus fluides, ne retiennent plus de grenailles de fonte.

Un avantage très important de l'emploi de l'air chaud dans les fourneaux au charbon de bois, c'est de permettre la substitution du bois en nature, ou du bois torréfié, au charbon de bois, et en proportion assez considérable, ainsi qu'on l'a fait observer en parlant des combustibles. Il en résulte une économie notable, comme on le verra plus loin.

Les seules objections faites contre l'emploi de l'air chaud étaient que ce procédé donnait des fontes moins tenaces et un fer de moindre qualité.

Ces observations ont pu résulter de quelques faits isolés et indépendans du procédé de fondage; mais une expérience prolongée et les résultats journaliers prouvent qu'elles n'ont aucun fondement. En général, les fontes à l'air chaud, grises ou blanches, sont au moins aussi tenaces que celles obtenues à l'air froid; et les fers qui en proviennent sont, sinon meilleurs, du moins aussi bons que ceux que l'on fabrique avec les anciennes fontes.

Influences atmosphériques. Un fait bien connu de tous les maîtres de forges, c'est que les fourneaux marchent moins bien l'été que l'hiver, c'est-à-dire qu'ils produisent moins de fonte et de moindre qualité, outre qu'ils consomment généralement une plus grande quantité relative de combustible.

On attribuait cet effet à la moindre densité de l'air, qui, sous le même volume, fournit alors moins d'oxigène pour la combustion. Mais alors aussi, en augmentant la pression ou le volume d'air en proportion convenable, selon la température de l'atmosphère, de manière à avoir la quantité d'oxigène nécessaire, on aurait dû pouvoir rétablir la marche des fourneaux, et l'expérience prouve que ces deux moyens sont insuffisans. La cause influente n'est donc pas la moindre densité de l'air, et ce n'est pas non plus sa température; car l'air chauffé à un très haut degré est d'un emploi très avantageux, quoique bien plus dilaté que l'air atmosphérique.

On doit très probablement attribuer les effets observés à l'eau dissoute dans l'air, et qui y est bien plus abondante en été qu'en hiver. On sait qu'en injectant de la vapeur d'eau, même à une très haute température, dans un haut-fourneau, on l'éteint en très peu de temps (1), et dès lors on est conduit par analogie à admettre que l'eau contenue dans l'air tend à agir de la même manière. C'est ce qui explique aussi pourquoi, en augmentant le volume d'air en été, on ne parvient pas à imprimer aux fourneaux une marche aussi active et aussi avantageuse qu'en hiver.

L'emploi de l'air chaud atténue beaucoup les influences atmosphériques, et donne une marche plus constante aux fourneaux; mais toutefois le travail d'été est encore le moins avantageux, et cela doit être ainsi, puisque l'air chaud porte avec lui toute l'eau en dissolution dans l'atmosphère.

Emploi du bois et de la houille. Un des résultats les plus importans dus à la projection de l'air chaud dans les hauts-fourneaux, c'est de pouvoir employer les combustibles en nature, ou à peine carbonisés, en proportions considérables, tandis qu'on ne pouvait aucunement en faire usage en se servant d'air froid, ou que l'on n'obtenait alors que de mauvais produits.

C'est ainsi que la substitution de la houille au coke a eu lieu avec avantage dans un grand nombre de hauts-fourneaux de l'Écosse et de l'Angle-

(1) Expérience faite en Angleterre.

terre; et qu'à l'usine de Warteg (pays de Galles), un coke incomplétement carbonisé a été employé non seulement sans aucun inconvénient, mais encore avec plus de profit que le coke ordinaire.

Le succès de l'emploi de la houille crue dépend toutefois de sa nature, et il n'est complet qu'avec les houilles maigres. Les houilles collantes, se coagulant, forment dans les fourneaux des voûtes qui empêchent par momens le dégagement du gaz, et occasionnent de fortes explosions, qui projettent des charbons enflammés et du minerai hors du gueulard.

En France, à Alais et à Decazeville, depuis qu'on emploie l'air chaud, on a très bien réussi en faisant entrer la houille dans les charges pour trois quarts à trois cinquièmes en poids, le surplus se composant de coke.

On obtient des avantages analogues avec le bois en nature, dans certaines conditions, ainsi qu'on l'a déjà dit en parlant des combustibles; mais les meilleurs résultats paraissent devoir être obtenus avec le bois torréfié, ainsi qu'on va en juger par les données comparatives suivantes :

Dans les fourneaux des Ardennes, on emploie ordinairement 1,60 chars de charbon de bois pour une tonne de fonte (1000 kil.), lesquels, à raison de 54 fr. 88 c. le char (Section I, Combustibles), coûtent 87 fr. 81 c.

A l'usine des Bièvres, en 1835, on obtenait de très bons résultats en composant les charges de bois torréfié pour les trois quarts, et de charbon pour l'autre quart, le tout formant ensemble le même volume, ou 1,6 chars par tonne de fonte. La dépense en combustible était alors :

Pour 0,4 chars de charbon de bois, à 54 fr. 88 c..........	21 fr. 95 c.
Pour 1,2 chars de bois torréfié, à 27 fr. 9 c..............	32 51
Total par tonne de fonte....................	54 fr. 46 c.

Ce qui produit sur l'emploi du charbon seul une économie de 33 fr. 35 c.

Plus tard, dans la même usine, on supprima totalement le charbon de bois, et l'on obtint la tonne de fonte avec le même volume (1,6 chars) de bois torréfié, ce qui porte la dépense de combustible seulement à 43 fr. 35 c., et produit sur l'emploi du charbon seul une économie de 44 fr. 46 c.

On objecte toutefois que la fonte obtenue par le bois seul est moins bonne pour la fabrication du fer; mais les charges mixtes donnant de bons produits, il paraît que l'on peut compter sur l'économie qui résulte de ce mode.

La consommation relative est plus forte pour le bois torréfié que pour le charbon de bois. Le poids du char de bois torréfié étant moyennement

de 970 kil., il s'ensuit qu'on brûle 155 de bois pour 100 de fonte, tandis qu'à raison de 685 kil. par char de charbon de bois, la consommation moyenne de ce dernier n'est que de 110 pour 100 de fonte.

Mélanges de charbon et de coke. Dans quelques usines, et notamment à Torteron (Nièvre) et Hayange (Moselle), on a employé avec avantage des mélanges de charbon de bois et de coke en diverses proportions, sans faire usage de l'air chaud.

A Torteron, pour produire de la fonte de forge avec des minerais rendant de 35 à 37 pour 100, on a d'abord consommé 148 kil. de charbon de bois et 5 kil. de coke pour 100 de fonte; puis, augmentant successivement la proportion de ce dernier combustible, on est arrivé aux proportions de 154 kil. de coke et 36 kil. de charbon de bois, sans que la qualité de la fonte en soit altérée.

A Hayange, on a fait varier les proportions du coke d'un sixième à un demi, et l'on s'est arrêté, après un grand nombre d'essais, à un mélange de coke et de charbon, dans le rapport de 14 à 15.

Dans ces deux fourneaux, on emploie aussi le coke ou le charbon seuls, selon qu'il est plus facile ou plus économique de s'approvisionner de l'un ou de l'autre combustible, ou selon la nature de fonte qu'on veut obtenir.

Le plus difficile est de bien régler le vent et sa pression, suivant les proportions respectives des deux combustibles et leur densité. A Torteron, en ne marchant qu'au charbon de bois seul, la pression est de trois quarts de livre par pouce carré; elle est d'une livre un quart lorsqu'on consomme moitié coke, moitié charbon de bois; de deux livres à deux livres et demie lorsqu'on emploie le coke seul, et qu'il est compacte; enfin d'une livre et demie à une livre trois quarts lorsqu'il est léger.

Mélanges d'anthracite et de coke. En Angleterre, dans le sud du pays de Galles, près de Swansea, il existe un fourneau qui marche à l'anthracite et au coke, mélangés par moitié. Ce fourneau, dont les dimensions sont peu considérables, a une marche assez régulière, et donne des fontes de forge et de moulage.

A Vizille (Isère), on avait construit un fourneau des mêmes dimensions intérieures que celui de Vienne (Ire Partie, Pl. 9), pour marcher également avec un mélange de coke et d'anthracite. On ne put établir un roulement régulier qu'avec 3 parties de coke sur 7 d'anthracite, et l'on trouva enfin, qu'à cause de la lenteur avec laquelle ce dernier combustible brûle, on avait plus d'avantage à faire les mélanges par moitié.

Ce ne fut qu'avec un soin extrême et une pression de vent très élevée (14 à 15 centimètres de mercure) qu'on parvint à obtenir un peu de fonte avec l'anthracite seul. Il ne se produisait qu'une faible quantité d'un laitier visqueux, qui obligeait à nettoyer souvent le creuset, et il fut impossible de soutenir un tel travail.

Ce fourneau fut abandonné à cause de la cherté du coke, dont le transport était trop dispendieux.

Mélange de charbon de bois et de tourbe.

Le charbon de tourbe, lorsqu'il provient d'une bonne qualité de tourbe, et qu'il a été fabriqué par un procédé convenable, paraît être presque identique au charbon de bois léger, et semble pouvoir le remplacer dans la plupart des opérations pour lesquelles ce dernier est employé.

En 1827, la carbonisation de la tourbe commença à se répandre dans le département des Vosges, et, dans quelques localités, on obtint un charbon de première qualité. On a essayé ce charbon dans des hauts-fourneaux, en composant les charges de deux tiers de charbon de bois de hêtre et bouleau, et d'un tiers de charbon de tourbe, et l'on eut des résultats assez satisfaisans.

Le charbon de tourbe a été également essayé dans les hauts-fourneaux de Lauchammer, en Saxe, par M. Moser; mais ces expériences ne paraissent pas assez concluantes pour que l'on puisse regarder ce combustible comme propre à la fusion des minerais.

SECTION III.

DISPOSITION DES HAUTS-FOURNEAUX.

La disposition des hauts-fourneaux embrasse les formes intérieures et extérieures, les dimensions ou proportions à donner à chacune des parties qui composent ces appareils, le mode de répartition du vent, la détermination de l'épaisseur des diverses parties de la construction et les moyens de la consolider.

DISPOSITIONS INTÉRIEURES.

Formes. On a déjà vu (section II) quelle est, en général, la forme qu'il faut donner aux fourneaux pour qu'ils satisfassent aux conditions de leur travail; mais ces conditions peuvent être remplies plus ou moins avantageusement, et dès lors il y a lieu d'examiner quels sont, parmi les profils et les sections horizontales adoptés, ceux qui conviennent le mieux.

Le but que l'on doit se proposer, c'est de rendre la marche des hauts-fourneaux aussi regulière que possible; et l'on y parviendra d'autant mieux que les matières descendront avec plus de régularité, et que la chaleur se répartira plus également en chaque point. C'est surtout dans les parties supérieures à l'ouvrage que ces conditions doivent être remplies, afin que les matières soient bien préparées à la fusion.

La cuve et les étalages qui forment ces parties sont le plus ordinairement des cônes ou des pyramides tronquées, opposées base à base, comme l'indiquent les *fig*. 3, 4, 11, 14 et 16, Pl. 9, en sorte que leur profil est composé de lignes droites. Cette disposition est d'une construction plus facile, surtout pour rendre indépendantes l'une de l'autre les maçonneries qui forment les parois; mais si *l'angle au ventre* ou à la jonction des deux surfaces n'est pas suffisamment ouvert, les matières peuvent s'y arrêter, s'y agglomérer, et occasioner des descentes irrégulières.

Pour prévenir cet inconvénient, on raccorde le profil de la cuve et celui des étalages par un petit arc de cercle, comme on le voit *fig*. 7.

Quelquefois, pour diminuer l'angle des deux parties, et conserver en même temps la faculté de les rendre indépendantes, on prolonge le haut des étalages en cylindre jusqu'à une certaine hauteur, comme l'indiquent les lignes *de, de, fig*. 2, Pl. 8. Cette disposition est en outre avantageuse sous d'autres rapports, en ce qu'elle permet aux minerais de séjourner plus long-temps dans le ventre, et de se mieux préparer à la fusion.

La cuve doit toujours diminuer de largeur depuis le ventre jusqu'au gueulard, parce que la chaleur diminuant successivement dans le même sens, il faut la concentrer de plus en plus, dans de certaines limites, afin de favoriser la réduction des minerais. De ce rétrécissement résulte que la surface de la cuve incline de toutes parts vers l'intérieur, et que la chaleur est sans cesse réfléchie vers les étalages, en sorte que l'effet utile du combustible doit en être un peu augmenté.

Pour accroître encore cet effet, sans donner plus d'ouverture au gueulard, on a dans quelques contrées d'Angleterre, ainsi qu'en Suède, en Styrie et en Carinthie, formé le profil de la cuve d'une courbe tournant sa concavité en dedans, comme l'indique la *fig*. 9; mais comme cette courbe ne peut jamais s'écarter beaucoup de la ligne droite qui passerait par ses extrémités, il est très probable que la forme qui en résulte n'exerce pas une influence sensible. Le plus grand avantage qu'on puisse lui attribuer, c'est de maintenir une plus haute température dans la cuve, en augmentant sa capacité; mais cette augmentation est si peu considérable, que c'est se jeter dans des difficultés de construction sans la moindre certitude d'utilité.

On a essayé aussi de profiler l'intérieur des hauts-fourneaux suivant la forme qu'il affecte à l'époque où le travail va le mieux; mais si, dans quelques cas, on a retiré des indications utiles de ces observations, le plus souvent on n'a pu en conclure que des formes bizarres, dépendant du plus ou moins de fusibilité des matériaux employés à la construction.

En résumé, les profils composés de lignes droites, et surtout ceux qui admettent une partie droite pour le ventre, donnent d'aussi bons résultats que les autres; et comme ils sont d'une plus facile exécution, ils paraissent devoir être préférés, surtout si l'on considère que les angles saillans ou rentrans sont bientôt effacés par le glissement des matières et par l'action de la chaleur.

Le raisonnement seul indique que la meilleure forme pour les sections ou tranches horizontales est celle du cercle, parce que, dans chacune d'elles, tous les points de la surface étant également éloignés du centre ou de l'axe du fourneau, ils doivent être plus uniformément chauffés. En outre, tous ces points réfléchissant la chaleur vers l'axe, ce dernier est nécessairement la *ligne de plus haute température;* et il est avantageux d'avoir une telle ligne bien déterminée, pour y diriger au besoin les substances les plus difficiles à réduire ou à fondre.

L'expérience indique aussi la forme circulaire des sections comme étant la meilleure; et l'on observe constamment, quelle que soit la figure primitivement donnée aux tranches horizontales, qu'elles tendent à redevenir circulaires par l'effet des altérations qu'elles subissent. Cette forme favorise d'ailleurs la régularité si nécessaire à la descente des matières.

Malgré les avantages bien constatés des sections circulaires, on employe souvent, dans les petits fourneaux au charbon de bois, la forme quadran-

gulaire ou un assemblage d'arcs de cercles, comme l'indiquent les lignes ponctuées *dd, dd, fig.* 17, Pl. 9; mais peu à peu ces dispositions routinières, presque toujours imposées par les ouvriers fondeurs, et qui n'ont pas même le mérite de faciliter les constructions, disparaissent pour faire place à des formes normales.

Dans quelques contrées, telles que le Hartz et l'Angoumois, on a adopté la forme octogone pour le ventre des fourneaux, en donnant à la base des étalages et au gueulard la forme carrée, comme l'indiquent les *fig.* 11, 12 et 15; c'est déjà une amélioration, mais qui ne remplit pas entièrement le but, et ne facilite en rien la construction.

Lorsque les fourneaux au charbon de bois n'ont pas une largeur au ventre excédant 2 mètres, on se dispense assez souvent de leur donner un ouvrage; et dans ce cas les étalages, fortement inclinés, reposent immédiatement sur le creuset, ainsi qu'on le voit *fig.* 16. Cette disposition ne peut être adoptée que pour des minerais très fusibles, et encore arrive-t-il souvent que le fourneau s'engorge, parce que les matières descendent trop promptement, et que, se présentant sur une trop grande surface, elles ne peuvent recevoir le degré de chaleur nécessaire à une complète fusion : aussi les fourneaux ainsi construits présentent-ils généralement beaucoup d'irrégularité dans leur marche et dans la nature des produits.

La section de l'ouvrage est ordinairement carrée ou rectangulaire lorsqu'on construit cette partie en grès, parce que la construction est plus facile à exécuter; mais lorsqu'on se sert de briques réfractaires, il vaut mieux se rapprocher successivement de la forme circulaire à mesure qu'on s'élève, en donnant à la section supérieure la figure d'un octogone régulier. Ce mode de construction, employé par M. Walter pour les fourneaux de Lavoulte (Ardèche) et Vienne (Isère) (Pl. 9, *fig.* 2, et Pl. 14, *fig.* 3 et 6), donne de bons résultats, et facilite beaucoup le raccordement de la surface de l'ouvrage avec celle des étalages.

Dimensions. Les élémens qui influent sur les dimensions à donner à l'intérieur des hauts-fourneaux sont : la nature des combustibles et des minerais, la force des machines soufflantes, ou la quantité de vent que l'on peut produire sous la pression voulue, et la qualité des matériaux de construction.

S'il fallait avoir égard à tous ces élémens à la fois, la recherche des dimensions convenables serait extrêmement compliquée, et il serait impossible d'établir aucune règle à ce sujet; mais on peut toujours considérer la

force des machines soufflantes comme réglée convenablement ou connue à l'avance, et admettre que l'on peut se procurer des matériaux de construction capables de résister assez long-temps au degré de chaleur que l'on doit produire.

La question, ainsi simplifiée, devient soluble au moyen des données d'expérience déjà réunies dans la section précédente, ou de celles que l'on fera successivement connaître.

Largeur ou *diamètre au ventre*. On a vu (section II, Résultats d'expérience, paragraphe 7) que cette dimension est celle qui, jointe à la quantité d'air lancée, influe le plus puissamment sur la production des hauts-fourneaux. Elle doit donc se déterminer, soit par la quantité de fonte à produire, en supposant qu'on puisse donner tout le vent nécessaire, soit par la quantité d'air dont on peut disposer.

Dans le premier cas, il faut, par des essais ou au moyen de résultats déjà obtenus en grand, classer les minerais dont on dispose sous le rapport de leur richesse et de leur fusibilité (voir section Ire, Essai et fusibilité des Minerais), puis, faisant usage des données de la section II, admettre une consommation approximative de combustible, pour en déduire la section au ventre, ainsi qu'il suit :

Soit à établir un fourneau au charbon de bois pour produire 4,000 kil. de fonte par 24 heures, avec des minerais moyennement fusibles, rendant 30 à 35 pour 100. Le tableau page 61 indique qu'on peut admettre une consommation d'environ 120 de charbon pour 100 de fonte : on brûlera donc 4,800 kil. de charbon par 24 heures, et par heure 200 kil.

La quantité brûlée par heure et par mètre carré de section variant de 80 à 100 kil., en prenant 90 pour moyenne, et divisant 200 par ce nombre, on aura pour surface de la section au ventre $2^{m}22$ cent., qui correspond à un diamètre de $1^{m}685$.

Il est peu de fourneaux en France qui, avec cette section, produisent 4,000 kil. de fonte, parce qu'ils manquent soit de vent, soit de hauteur; mais il n'est pas rare d'en trouver en Styrie et en Carinthie qui rendent autant et même plus avec une moindre surface de ventre et une moindre consommation de combustible.

D'après le principe admis qu'il faut donner moins de surface au ventre, *lorsque les charbons sont légers et les minerais réfractaires, que lorsqu'on dispose de charbons compactes et de minerais fusibles*, il y aurait lieu à employer comme diviseur les nombres 80, 90 ou 100, selon le cas dans

lequel on se trouverait; mais outre qu'il en résulterait peu de différence, comme la marche d'un fourneau varie par une foule de circonstances dont il est impossible de tenir compte dans le calcul, telles qu'un changement de grosseur ou de nature dans les combustibles et minerais, plus ou moins d'humidité dans ces matières, etc., on ne peut jamais obtenir qu'une approximation, et dès lors il n'y a aucun inconvénient à faire usage des moyennes.

Dans le second cas, on procèdera de la manière suivante. Supposons qu'eu égard à la force motrice dont on dispose et à la pression sous laquelle on doit marcher, on ne puisse se procurer que 800 pieds cubes d'air par minute, ramenés à la densité atmosphérique; un fourneau doit recevoir de 300 à 375 pieds cubes d'air par minute et par mètre carré de section, soit en moyenne 335; divisant donc 800 par 335, on aura la section au ventre égale à 2^m39 cent., laquelle correspond à un diamètre de 1^m75.

Comme il faut 225 pieds cubes d'air pour brûler 1 kil. de charbon, en divisant 800 par 225, on aura pour quantité de charbon brûlée par minute 3^k60; d'où résulte par 24 heures une consommation de 5,184 kil.

Il ne s'agit plus que de connaître l'espèce de minerai à traiter pour savoir à peu près quel pourra être le produit du fourneau. Admettons que ce soit un minerai moyen, rendant 50 à 60 pour 100, il exigera environ deux parties de charbon pour une de fonte, et en divisant 5,184 par 2, on aura pour produit moyen 2,592 kil. de fonte par 24 heures.

Il ne faut pas perdre de vue que les nombres employés ne sont pas absolus, que des observations ultérieures plus étendues peuvent les modifier, et que par conséquent les résultats qui en proviennent ne sont qu'approximatifs.

Pour les fourneaux à coke, la marche à suivre est absolument la même; seulement les nombres à employer sont différens.

Soit à établir un fourneau pour produire 7,000 kil. de fonte par 24 heures, avec des minerais moyens. La consommation de coke serait environ de 250 pour 100 de fonte; on aura donc 17,500 kil. pour la consommation de 24 heures, soit par heure 729 kil. Divisant ce nombre par celui qui exprime la quantité de coke brûlé par heure et par mètre carré de section, c'est-à-dire par 49, on trouve que la surface du ventre doit être de 14^m87 cent., ce qui donne un diamètre de 4^m22.

En adoptant pour unité de consommation 75 kil. au lieu de 49, ainsi qu'il résulte du roulement du haut-fourneau de Seraing, le diamètre

serait de $3^{m}52$. Le mieux, quant à présent, serait de faire usage du nombre moyen 62.

Tous ces calculs sont relatifs à l'emploi de l'air froid; mais on peut en faire également usage en se servant d'air chaud; seulement la consommation de combustible sera diminuée, et la production de fonte augmentée, dans les rapports indiqués précédemment (section II).

Position du ventre. La hauteur du ventre au-dessus de la sole du creuset est un des points les plus importans à bien régler. Si elle est trop grande, on brûle plus de combustible pour un même produit; et si de plus les minerais sont facilement fusibles, ils se liquéfient trop promptement, et ne donnent que de la fonte blanche. Si elle est trop faible, les charbons et surtout les cokes compactes ne sont pas suffisamment préparés à la combustion et à la fusion des parties terreuses qu'ils contiennent; et si, de plus, les minerais sont réfractaires, ils descendent en morceaux dans le creuset.

Pour les fourneaux au charbon de bois, cette hauteur varie beaucoup non seulement dans les divers pays, mais encore dans une même contrée. Les limites extrêmes sont $\frac{1}{6}$ et $\frac{1}{2}$ de la hauteur totale comptée depuis la sole jusqu'au gueulard; les proportions les plus ordinaires sont $\frac{1}{4}$, $\frac{2}{7}$ et $\frac{1}{3}$. Les deux premiers rapports donnent en général de mauvais résultats, soit pour le produit, soit pour la consommation de combustible; et parmi les autres, le rapport $\frac{1}{4}$ est plus particulièrement applicable aux charbons légers et aux minerais fusibles, le rapport $\frac{2}{7}$ aux charbons et minerais moyens, et le rapport $\frac{1}{3}$ aux charbons durs et aux minerais difficilement fusibles.

Pour les fourneaux au coke, la hauteur du ventre est, au *maximum*, égale au tiers de la hauteur totale. Elle peut varier un peu en moins sans influer sensiblement sur les résultats.

Ventre cylindrique. Jusqu'à présent on n'a employé la forme cylindrique au ventre que pour les fourneaux à coke; mais on pourrait l'adapter également à ceux des fourneaux au charbon de bois qui sont élevés, alimentés par des charbons durs et des minerais réfractaires, ou qui sont disposés pour marcher au charbon et au coke, comme ceux de Hayange (Moselle) et Torteron (Nièvre).

Cette disposition est avantageuse surtout lorsque, par suite du peu d'inclinaison des étalages, leur section supérieure ne se trouve pas à peu près à la hauteur voulue : présentant une plus grande masse de combustible embrasé, elle augmente la chaleur de la cuve; et en outre, rendant moins brusque le passage des matières de la cuve aux étalages, elle empêche leur

compression, facilite le passage du vent, et diminue l'effet d'une disproportion accidentelle de minerai et de charbon.

La hauteur de la partie cylindrique doit être d'autant plus grande que les charbons sont plus compactes et les minerais plus réfractaires, afin de les mieux préparer à la combustion et à la fusion, par un séjour plus prolongé dans le ventre. Il en résulte un avantage sous le rapport de la production de la fonte, pourvu toutefois qu'on ne dépasse pas certaines limites.

Dans les fourneaux de 12 à 14 mètres d'élévation, il faut au moins lui donner 0^m65 de hauteur pour produire un effet sensible; et elle ne devrait pas dépasser 1^m25 à 1^m30 pour les fourneaux les plus élevés. En lui donnant 2^m à 2^m60, comme on le voit dans quelques usines du pays de Galles, le cône de la cuve présente une trop forte inclinaison sur son axe, ce qui entrave le dégagement des gaz, et peut nuire à la marche du fourneau, à moins qu'on ne donne une très grande ouverture au gueulard, autre inconvénient qu'il faut éviter.

Hauteur des fourneaux. Pour fixer la hauteur des fourneaux, on doit avoir égard à la nature des combustibles et minerais, ainsi qu'à la largeur au ventre.

En général, il faut une hauteur d'autant plus grande que les combustibles sont plus durs et plus compactes, que les minerais sont plus difficiles à fondre et que le ventre a plus de largeur.

La hauteur des hauts-fourneaux au charbon de bois, toujours prise de la sole du creuset au gueulard, est extrêmement variable. Il existe encore des fourneaux qui n'ont que 6^m à 6^m25 (18 à 19 pieds) de hauteur; plus généralement on leur donne de 8 à 9^m, et en Sibérie il y en a qui ont jusqu'à 13^m60.

D'aussi grandes différences ne tiennent pas seulement à la nature des matières premières, et en proviennent d'autant moins, que ce ne sont pas toujours les fourneaux les plus élevés qui emploient les combustibles les plus compactes ou les minerais les moins fusibles; dès lors il faut surtout en chercher la cause dans les variations de largeur au ventre.

La plus petite hauteur indiquée par l'observation est de trois fois la largeur du ventre, et ne doit, dans aucun cas, être moindre de 6^m. Ce rapport entraine presque toujours une plus grande consommation relative de combustible, surtout avec des minerais peu fusibles.

Pour les hauteurs égales à quatre ou cinq fois la largeur, les résultats

sont généralement avantageux sous tous les rapports, et le dernier nombre paraît être la limite supérieure à laquelle il est convenable de s'arrêter.

De cinq à six fois la largeur, les résultats sont encore bons, mais ne paraissent améliorés en rien; enfin, à une hauteur égale à sept fois la largeur, la marche des fourneaux devient difficile, et d'autant plus irrégulière que le charbon est plus friable et que les minerais sont en plus petits fragmens, parce qu'alors le vent ne peut plus se frayer un passage au travers de la masse.

D'après les résultats avantageux des plus grands hauts-fourneaux de Sibérie, dont plusieurs ont de 3^m à 3^{m}60 de largeur, il paraît inutile, dans tous les cas, de dépasser une hauteur de 13 à 14^m.

En résumé, les hauteurs convenables sont comprises entre trois fois et demie et cinq fois la largeur au ventre, et l'on peut avec sécurité faire usage de ces limites en se conformant d'ailleurs au principe général qui règle leur emploi.

Pour les fourneaux à coke, la hauteur est généralement comprise entre trois et quatre fois la largeur. Ceux qui sont alimentés en coke léger peuvent avoir de 12 à 14^m de hauteur; ceux dans lesquels on brûle un coke compacte n'ont jamais besoin d'excéder 16^m.

Au-delà de cette limite, on a reconnu qu'une plus grande élévation était plutôt nuisible qu'avantageuse, et l'on ne doit pas la dépasser, tant par motif d'économie de construction, que parce que les machines qu'il faut souvent employer pour élever les matières jusqu'au gueulard deviennent plus coûteuses et exigent plus de force.

Gueulard. Le gueulard a pour objet : 1°. de faciliter la sortie des gaz provenant de la combustion ou des substances qui se vaporisent; 2°. par sa moindre étendue, de limiter la surface en contact avec l'air extérieur.

Sa largeur influe beaucoup sur le produit journalier : s'il est trop étroit, le vent ne peut s'élever avec facilité, la réduction s'opère plus lentement, et on obtient peu de fonte; s'il est trop large, la perte de chaleur est considérable, la température de la cuve peut s'en trouver abaissée, et il peut encore en résulter diminution de produit ou de la fonte blanche. Toutefois un gueulard large a d'autant moins d'inconvénient que la cuve est plus large et plus haute.

Lorsque les matières sont disposées à se comprimer ou à se tasser, telles que les minerais ocreux ou en grains et les menus charbons, il faut donner le *maximum* de largeur au gueulard, pour faciliter le passage du vent. Il

en est de même si l'on traite des minerais très fusibles, afin qu'ils ne commencent pas à fondre trop tôt.

Le *minimum* d'ouverture convient, au contraire, aux minerais réfractaires et aux charbons compactes, parce que le vent peut toujours les traverser facilement.

L'expérience a fait connaître que l'ouverture du gueulard ne doit pas excéder le quart de la section au ventre, ni être moindre qu'un sixième de cette section. Dans le premier cas, son diamètre serait la moitié de celui du ventre; dans le second, il en serait les deux cinquièmes environ.

Cheminée. Afin que la flamme qui sort par le gueulard n'incommode pas les ouvriers chargeurs, on construit une cheminée au-dessus de la cuve.

Dans les petits fourneaux au bois, qui sont habituellement recouverts par une toiture, la cheminée est montée sur des piliers dont la hauteur au-dessus de la plate-forme est de 1^m50 à 2^m. Les *fig.* 1 et 3, Pl. 11, et les *fig.* 2 et 3, Pl. 12, indiquent ces dispositions.

Dans les fourneaux à coke, qui très rarement sont recouverts, la cheminée s'élève immédiatement sur la cuve. Tantôt elle est formée d'un cylindre de même diamètre que le gueulard, Pl. 9 et 14; tantôt d'un cône prolongeant la cuve jusqu'à une certaine hauteur, *fig.* 1 et 3, Pl. 13. On ménage dans cette cheminée une et plus généralement deux ouvertures pour introduire les matières dans le fourneau; et lorsque le gueulard est très large, on en établit trois, afin de pouvoir répartir les charges plus uniformément.

La disposition et la construction de ces ouvertures, qu'on nomme *portes de chargement,* sont indiquées par les Planches précédemment citées et par la Pl. 16.

La hauteur des cheminées varie de 2^m65 à 3^m60; elle doit être d'autant plus grande que le gueulard est plus large, afin que le tirage soit assez fort pour que les coups de vent ne refoulent pas la flamme. Les cheminées coniques, plus propres que les autres à assurer cet avantage, conviennent surtout aux fourneaux dont le gueulard est très ouvert.

Étalages. La pente et la hauteur des étalages doivent être proportionnées à la nature des matières employées. Une grande hauteur et une forte pente conviennent aux minerais réfractaires et aux combustibles compactes, parce que, d'une part, ils sont mieux préparés, et que, de l'autre, étant obligés de se comprimer à mesure de descente, le vent ne les traverse pas trop facilement : ce qui élève davantage la température.

Des minerais fusibles, des charbons légers et friables, exigent des étalages de peu de hauteur et d'une faible inclinaison.

La pente des étalages doit être moindre pour obtenir de la fonte grise que pour en obtenir de la blanche, afin que les minerais étant retenus plus long-temps à une haute température, les combinaisons nécessaires puissent s'opérer.

Si, par la nature du combustible, il faut un vent très fort, les étalages doivent être inclinés au moins de 60 degrés à l'horizon; si, de plus, les minerais sont réfractaires, on peut porter la pente à 65 ou 66°; et si cette inclinaison ne suffisait pas pour serrer les matières convenablement, il vaudrait mieux les réduire en plus petits fragmens que de l'augmenter.

Avec des cokes légers et des minerais moyennement fusibles, une pente de 55° paraît être la plus convenable.

Enfin, pour des charbons légers et des minerais très fusibles, on peut adopter une pente de 35 à 40°.

On ne devrait pas descendre au-dessous d'une inclinaison de 35°, parce que les matières ramollies, glissant difficilement sur les étalages, s'y attachent, dérangent la régularité des descentes, et tombent ensuite par masses dans le creuset.

Ouvrage. Cette partie joue un rôle très important dans le travail des hauts-fourneaux, et elle influe puissamment sur la nature et sur la quantité des produits.

Sa hauteur doit être telle que la fusion du minerai puisse se faire complétement, et c'est la limite au-dessous de laquelle on ne peut descendre : ainsi que la largeur, elle doit varier selon l'espèce de produits qu'on veut obtenir et la nature des matières premières.

On évase l'ouvrage vers le haut : 1°. pour faciliter la descente des matières; 2°. pour empêcher que le point de fusion ne s'élève trop, et, par suite, que les étalages ne soient trop fortement endommagés; 3°. pour augmenter la section dans laquelle la fusion commence à s'opérer et la quantité de fonte produite, en s'arrêtant toutefois à des limites telles que la qualité n'en soit pas altérée.

L'expérience a appris que pour produire de la fonte grise, il faut que l'ouvrage soit haut et resserré;

Que les charbons durs et compactes exigent un ouvrage plus élevé et plus large que les charbons légers;

Que pour les minerais réfractaires, il faut l'élever davantage que pour

les minerais fusibles, et le rétrécir d'autant plus que les charbons sont plus légers;

Que les ouvrages larges conviennent lorsqu'on vise au produit ou qu'on ne veut obtenir que de la fonte blanche, et que, dans ce dernier cas, ils peuvent être d'autant moins élevés que les minerais sont plus fusibles;

Enfin que l'ouvrage doit être d'autant moins évasé que les matières sont plus friables et plus disposées à la compression.

Pour les fourneaux au charbon de bois, de 7 à 8^{m} d'élévation, la hauteur de l'ouvrage au-dessus du creuset ne doit pas être moindre que $1^{m}25$. Pour produire de la fonte grise, il est bon de la porter à $1^{m}50$.

Pour ceux de 11 à 12^{m}, la hauteur peut varier de $1^{m}60$ à $1^{m}85$.

Pour les fourneaux à coke, de 13 à 14^{m} d'élévation, la hauteur de l'ouvrage doit être de $1^{m}90$ à 2^{m}; pour ceux de 15 à 16^{m}, on peut lui donner de 2^{m} à $2^{m}20$.

En comparant la hauteur des ouvrages à celle de leurs fourneaux, on trouve qu'elle est en général comprise entre $\frac{1}{7}$ et $\frac{1}{6}$ de la hauteur totale.

La largeur de l'ouvrage à la base est réglée par celle du creuset; sa largeur au sommet s'obtient en ajoutant à la première l'évasement convenable.

Si les charbons sont très légers et les minerais disposés à se comprimer fortement, l'évasement ou le retrait sur chaque paroi ne doit pas excéder $\frac{1}{10}$ de la hauteur de l'ouvrage.

Avec des charbons légers et des minerais en fragmens ou peu friables, de même qu'avec des minerais tendres et des charbons durs, on peut donner $\frac{1}{11}$ de retrait.

Pour des cokes légers et des minerais en fragmens même un peu disposés à se comprimer, la pente peut être de $\frac{1}{11}$; enfin on peut la porter de $\frac{1}{10}$ à $\frac{1}{9}$ pour des cokes compactes et des minerais durs.

Ces nombres peuvent servir de limites pour le travail en fontes blanche et truitée; et pour le travail en fonte grise, il faut réduire l'évasement d'un tiers environ.

Creuset. Le creuset doit recevoir toute la fonte qui se forme dans l'intervalle d'une coulée à l'autre; elle doit pouvoir s'y maintenir bien liquide, et y être protégée contre l'action du vent.

Sa forme est généralement rectangulaire, comme l'indiquent les *fig.* 2, 6, 8, 10, 12, 15 et 17, Pl. 9.

On nomme *sole* le plan qui forme le fond du creuset; *costières*, les deux grands côtés du rectangle; *rustine*, le côté de derrière. Lorsqu'il n'y a

qu'une tuyère, le côté sur lequel elle repose se nomme *costière de tuyère*, et le côté opposé *costière de contre-vent*.

Les angles de la rustine étant sujets à s'engorger, on arrondit quelquefois cette partie, comme on le voit *fig.* 2, Pl. 10; mais comme il n'en résulte aucune amélioration dans le travail, cette modification ne sert qu'à rendre la construction moins facile.

Les côtés du creuset proprement dit, c'est-à-dire de la partie sur laquelle repose l'ouvrage, étant soumis à l'action directe du vent, se creusent et s'évasent toujours pendant le travail, et cette observation a fait naître l'idée d'évaser un peu le creuset en le construisant (*fig.* 9 et 10, Pl. 9), ou de l'arrondir légèrement (*fig.* 2 et 4, Pl. 13). Ces dispositions sont bonnes en ce que la surface recouverte par le combustible étant plus grande, la masse en fusion est maintenue plus liquide. Toutefois l'évasement du creuset ne doit pas se prolonger à l'extérieur, afin de ne pas augmenter la surface découverte de l'avant-creuset.

Cet évasement ne se pratique habituellement que dans les fourneaux à coke, et suit presque toujours la pente de l'ouvrage; mais il serait également utile dans les fourneaux au charbon de bois, et d'autant plus que la température y est ordinairement moins élevée que dans les premiers.

Les coulées se font quelquefois de 8 en 8 heures, mais plus ordinairement toutes les 12 heures. Cependant comme on peut accidentellement avoir besoin de réunir les produits de 18 ou même de 24 heures, et que d'ailleurs le creuset ne doit être rempli de fonte que jusqu'aux deux tiers ou aux trois quarts au plus, afin que le laitier la préserve de l'action du vent, on lui donne généralement une capacité suffisante pour recevoir au moins le maximum de produits journaliers.

Les rapports entre la profondeur, la largeur et la longueur du creuset, quoique assez variables dans les fourneaux le mieux établis, sont cependant assez rapprochés pour que l'on puisse en déduire une règle usuelle.

La profondeur ou hauteur du creuset étant prise pour unité, sa largeur est 1, 2 ou d'un cinquième en sus; sa largueur est 3, 33 ou de trois fois et un tiers sa hauteur.

Soit, par exemple, à construire un fourneau dont le produit maximum doive être de 7,200 kil. par 24 heures. Ce poids étant celui d'un mètre cube de fonte, il s'en suit que la capacité du creuset doit présenter ce volume.

Désignant par x la hauteur du creuset, 1, 2 x sera sa largeur, et 3, 33 x

sera sa longueur. Le produit de ces quantités doit être égal à un mètre cube; on a donc $x \times 1,2x \times 3,33x$ ou $3,996x^3 = 1$, ce qui donne x ou la profondeur égale à 0^m630. La largeur sera $0,630 \times 1,2$ ou $0,^m756$ et la longueur $0,630 \times 3,33$ ou 2^m04.

On peut faire varier les dimensions calculées un peu en plus ou en moins, sans inconvénient; mais ces variations doivent tendre à diminuer plutôt qu'à augmenter la hauteur du creuset, laquelle ne doit pas excéder un mètre pour les plus grands fourneaux. Au surplus, la règle que l'on vient d'établir ne donnerait cette hauteur *maxima* que pour un produit de 20,000 kil. environ par 24 heures.

Lorsque les fourneaux doivent marcher à l'air chaud, il faut compter de un tiers à moitié en sus des produits qu'ils donneraient à l'air froid, pour régler la capacité du creuset.

La sole du creuset est ordinairement horizontale; toutefois une légère inclinaison vers la dame n'offrirait aucun inconvénient et faciliterait l'écoulement de la fonte, mais elle rend plus difficile la pose de la première assise des costières, qui doit être mise de niveau. On ne doit jamais faire incliner la sole vers la rustine.

Tuyères et quantité de vent. Selon la grandeur des fourneaux, l'air y est introduit par une, deux ou trois tuyères. Leur nombre dépend de la masse d'air à lancer; il faut donc indiquer d'abord les moyens de la déterminer.

On peut la calculer, soit par la surface du ventre, soit par la quantité de combustible à brûler par minute; et comme ces deux opérations ne sont jamais parfaitement concordantes, il est mieux de les faire toutes deux, pour prendre le résultat moyen.

On va donner un exemple de ces calculs pour le fourneau au charbon de bois, dont on a précédemment déterminé la section relative à un produit journalier de 4,000 kil. de fonte.

Cette section est de 2^m22 cent., et puisqu'il faut 300 à 375 pieds cubes d'air par minute pour chaque mètre carré de section, soit en moyenne 335, ce nombre, multiplié par 2,22, donnera la quantité d'air nécessaire, et qui est ici de 744 pieds cubes par minute.

La quantité de charbon brûlée par heure étant de 200 kil., elle sera de 3^k33 par minute, et comme il faut (section II) 225 pieds cubes d'air pour brûler 1 kil. de charbon, il s'ensuit que le fourneau devra recevoir par minute 749 pieds cubes d'air : ce qui s'accorde avec le résultat précédent.

En faisant des calculs analogues pour le fourneau à coke, dont la section est de $14^{m}87$ cent., et qui brûle 729 kil. de coke par heure, mais en employant les nombres corrélatifs 180 et 200 pour les quantités d'air à donner par mètre carré de section et par kilogramme de combustible, on trouve pour la quantité de pieds cubes d'air, par minute, les nombres 2,676 et 2,673.

Il existe de grands hauts-fourneaux au charbon de bois qui ne reçoivent pas au-delà de 200 pieds cubes d'air par minute et par mètre carré de section, et dont la marche est néanmoins régulière; mais en calculant sur cette base on est obligé d'augmenter beaucoup la largeur des fourneaux et par suite tous les frais de construction. Il est donc préférable de répartir la même quantité d'air sur une moindre surface, puisque les résultats sont au moins aussi avantageux sous tous les rapports.

Presque toujours on n'emploie qu'une seule tuyère pour les fourneaux au charbon de bois, lorsque la quantité d'air à lancer n'excède pas 800 à 900 pieds cubes par minute, et même dans quelques fourneaux on lance 1,000 à 1,200 pieds cubes par un seul orifice; mais c'est là une limite supérieure que l'on doit éviter d'atteindre, et en général, passé 600 à 700 pieds cubes, il vaut mieux employer deux tuyères, parce que le vent se répartit plus également et qu'on obtient beaucoup plus de régularité.

Pour les fourneaux à coke, il faut toujours deux tuyères au moins, tant que la quantité d'air n'excède pas 2,000 à 2,400 pieds cubes par minute. Au-delà, il faut trois tuyères, et la limite que l'on peut atteindre avec ce nombre est de 3,500 à 3,600 pieds cubes.

Position des tuyères. Les tuyères s'établissent sur le plan supérieur du creuset. Lorsqu'on n'en emploie qu'une, on la place sur la costière opposée au trou de coulée, afin qu'au besoin le vent puisse y pousser les matières en fusion; en outre, on la rapproche de la rustine, parce que cette partie, difficilement atteinte par les ringards, est sujette à s'engorger et doit être par cette raison maintenue très chaude. Les *fig.* 12, 15 et 17, Pl. 9, offrent des exemples de cette disposition, qui a encore l'avantage de ménager la tympe.

Quelle que soit la longueur du creuset, proprement dit, ou de la base de l'ouvrage (à l'art. *Tympe*, on verra comment on la détermine), on place ordinairement l'axe de la tuyère sur une ligne *rs*, située à une distance de la rustine égale aux deux cinquièmes ou au tiers de cette longueur :

Toutefois cette règle n'est pas invariable, et l'on s'en écarte, soit pour rapprocher, soit pour éloigner un peu la tuyère de la rustine, souvent sans autre motif que le caprice ou la routine des ouvriers.

Lorsqu'on emploie deux tuyères, la ligne *rs* sur laquelle on les établit, *fig*. 2 et 6, et que l'on nomme encore axe des tuyères, partage habituellement la distance de la tympe à la rustine en deux parties égales, ou mieux, se rapproche de 10 à 15 centimètres vers la rustine, afin que la tympe soit moins exposée aux dégradations. Dans tous les cas, les tuyères ne sont pas sur la même ligne, afin que les vents se distribuent plus également et ne se refoulent pas. Ordinairement l'une des ouvertures de tuyère est placée à droite de la ligne *rs*, et l'autre ouverture à gauche.

Lorsqu'on se sert de trois tuyères, celles des costières ont le même axe, *fig*. 8 et 10, qui est également éloigné de la rustine et de la tympe, et la troisième tuyère se place sur le milieu de la rustine.

Dans aucun cas il ne faut placer deux tuyères sur une même costière, parce qu'on affaiblirait trop la base de l'ouvrage, qu'on détruirait plus promptement la tympe, et qu'on s'exposerait à des descentes irrégulières.

Les tuyères se posent toujours horizontalement, excepté dans le cas tout particulier où l'on veut blanchir la fonte dans le creuset. On leur donne alors une inclinaison telle que le vent plonge et frappe sur le bain métallique, comme dans l'opération de l'affinage de la fonte.

Position de l'axe des fourneaux. Lorsqu'on observe les altérations intérieures des fourneaux à deux et trois tuyères, on trouve constamment qu'elles sont à peu près symétriques par rapport à la ligne verticale qui passe par le point d'intersection de l'axe *rs* des tuyères latérales et de la ligne *uv*, milieu du creuset. Cette ligne est donc effectivement la ligne de plus haute température, et doit par conséquent servir d'axe à toutes les parties du fourneau supérieures au creuset.

Dans les fourneaux à une seule tuyère, il n'en est plus ainsi : le vent étant plus rapproché de la rustine et frappant la costière opposée, les parois de l'ouvrage se rongent de ces côtés et prennent plus d'inclinaison, comme l'indiquent les *fig*. 11, 14 et 16, Pl. 9. La base supérieure de l'ouvrage s'évase dans ces deux sens, et la verticale passant par le centre de cet évasement ne correspond plus au milieu de la largeur du creuset. La ligne qui passe par ce dernier point n'est donc pas celle de plus haute température, et ne doit plus être prise pour axe des constructions. C'est alors la verticale qui passe par le centre de la section supérieure de l'ouvrage,

que l'on prend pour cet axe, et l'expérience a fait voir qu'elle correspond à un point de l'axe de tuyère, situé au tiers ou au quart de la largeur du creuset, du côté de la costière de contrevent.

En établissant le tracé d'après ces indications, il n'y a plus d'irrégularité que dans l'ouvrage, et cette irrégularité, en ramenant les matières vers la tuyère, contribue à imprimer une meilleure marche au fourneau.

De la tympe. La position du dessous de la tympe, relativement au plan des tuyères ou de la partie supérieure du creuset, peut varier de trois manières :

1°. Au-dessous de ce plan, la tympe conserve plus de chaleur dans le creuset, mais elle le rend plus difficile à nettoyer et gêne l'écoulement des laitiers, qui peuvent alors refluer dans les tuyères et les obstruer. Cette disposition ne peut convenir que pour de petits creusets, et lorsque les laitiers sont habituellement très liquides. Dans tous les cas, on ne doit pas la descendre à plus de 5 à 6 centimètres au-dessous des tuyères.

2°. Dans le plan supérieur du creuset, la tympe ne peut arrêter les laitiers et le travail est plus facile. Cette disposition très fréquemment adoptée, surtout dans les grands fourneaux au bois, convient, quelle que soit la consistance des laitiers.

3°. Élevée au-dessus du plan des tuyères de 4, 5 et même jusqu'à 10 centimètres, la tympe offre les mêmes avantages que précédemment, et en outre plus de facilité pour nettoyer la rustine et pour *moucher* les tuyères, c'est-à-dire pour arracher les matières qui peuvent s'y attacher. Cette position est adoptée pour la majeure partie des fourneaux à coke, qui exigent un travail plus fréquent dans le creuset, et sont plus sujets aux engorgemens.

Afin qu'il puisse résister à l'action des ringards, l'angle ou le bec extérieur de la tympe est garni d'une pièce en fer ou en fonte, comme on le voit en *f*, Pl. 12, *fig.* 8, 9 et 10, ou d'une plaque en fonte coudée *uvx*, Pl. 15, *fig.* 2. Cette plaque, qui se nomme *plaque de tympe* est surtout employée dans les fourneaux à coke; et l'autre garniture, que l'on désigne sous le nom de *fer de tympe*, est plus en usage dans les fourneaux au bois. L'une et l'autre garniture doit pouvoir être changée facilement. (*Voyez* les Descriptions des Planches.)

Le bec intérieur de la tympe ne doit pas être trop aigu, afin de se détruire moins promptement, et le mieux est de le faire à angle droit, comme l'indique la *fig.* 2, Pl, 15. Dans les fourneaux au bois, par suite de la posi-

tion de l'axe, il arrive très souvent que toute la tympe est presque verticale à l'intérieur, ce qui est très favorable à sa conservation, parce qu'elle souffre moins du frottement des matières.

Dans les petits fourneaux au bois, l'épaisseur de la tympe, en bas, varie de 32 à 40 centimètres; dans les grands fourneaux, on la porte jusqu'à 55 et 60.

Dans les fourneaux au coke, on ne donne pas à cette épaisseur moins de 60 centimètres, et dans ceux de grandes dimensions on lui donne jusqu'à 70 et 75.

Par ces épaisseurs plus ou moins considérables, on atteint le double but d'obtenir une plus longue durée, et de maintenir la chaleur dans l'avant-creuset en le recouvrant en partie.

La partie découverte de l'avant-creuset comprise entre la tympe et la dame, doit être assez grande pour qu'on puisse travailler aisément dans le creuset et pour pouvoir y puiser la fonte au besoin. A cet effet, la distance du bec extérieur de la tympe au-devant du creuset est de 30 à 33 centimètres pour les petits fourneaux au bois; de 40 à 42 centimètres pour les grands; et pour les fourneaux à coke, de 60 à 65 centimètres. Cette distance et l'épaisseur de la tympe, déduites de la longueur totale du creuset, fixent la longueur de la base de l'ouvrage.

De la dame. La crète de la dame doit être au moins de 4 à 5 centimètres plus basse que les tuyères, afin que les laitiers ne puissent les engorger. Si même ces derniers sont épais et visqueux, on peut descendre la crète de la dame jusqu'à 8 centimètres.

La face intérieure de la dame ne doit être ni arrondie, ni verticale, parce qu'alors on ne peut atteindre au pied pour nettoyer le fond du creuset. Elle doit être plane et inclinée sous un angle d'environ 60 degrés. L'épaisseur à la crète étant de 5 à 8 centimètres, il résulte de cette inclinaison une épaisseur à la base, suffisante pour assurer une bonne fermeture au trou de coulée, et la fonte avançant peu vers le devant du creuset est moins sujette à se refroidir.

Le devant de la dame est garni d'une plaque en fonte dite *plaque de dame*, s'élevant de 4 à 5 centimètres au-dessus de la crète et portant une échancrure ou *chio* pour le passage des laitiers. Ceux-ci s'écoulent sur un plan incliné formé tantôt par des plaques de fonte, tantôt, et le plus ordinairement, par de la terre et du fraisil retenus latéralement par une longue plaque en fonte, dite *plaque de gentilhomme*. (*Voir* la Description de la Planche 15.)

Épaisseur des parois intérieures. Ces épaisseurs doivent être d'autant plus fortes que la température est plus élevée, et, par conséquent, augmenter en général avec les dimensions des hauts-fourneaux.

Le creuset, l'ouvrage et une partie des étalages éprouvant la plus forte chaleur doivent avoir des parois plus épaisses que la cuve dans laquelle la température diminue successivement. Le creuset surtout n'étant pas entièrement enveloppé par les maçonneries extérieures, et se dégradant assez promptement, doit présenter des parois réfractaires assez épaisses, et, de plus, pour s'opposer autant que possible aux déperditions de chaleur, il faut les envelopper d'une contre-paroi en briques ordinaires à laquelle on donne de 22 à 32 centimètres d'épaisseur.

L'épaisseur des parois du creuset, dans les fourneaux au bois, varie de 66 à 80 centimètres. Dans les fourneaux à coke on lui donne de 0^m90 à 1^m20.

L'épaisseur des parois de l'ouvrage est de 0^m65 à 0^m75; celle du pourtour des étalages, de 0^m65 à 0^m70.

Les parois de la cuve, que l'on désigne aussi sous le nom de *chemise*, ont de 0^m35 à 0^m40 d'épaisseur en bas, et de 0^m20 à 0^m25 au sommet.

Ces dimensions sont relatives à l'emploi de briques réfractaires auxquelles on peut toujours donner telle forme et telle grandeur que l'on veut; mais si l'on emploie d'autres matériaux, il n'y a jamais d'inconvénient à se servir de dimensions un peu plus considérables au besoin.

Fausses-parois ou *contre-parois.* Dans les fourneaux d'une grande hauteur, alimentés avec des charbons durs dont la combustion doit être activée par un courant d'air très rapide, on entoure souvent la cuve d'une double, et quelquefois même d'une triple enveloppe. Ces enveloppes concentriques avec la chemise, comme on le voit Pl. 10, *fig.* 1 et 7, prennent le nom de *fausses-parois* ou de *contre-parois.* On laisse entr'elles un espace de 8 à 12 centimètres, qu'on remplit de matériaux réfractaires concassés et légèrement serrés.

Le double but de cet espace intermédiaire est de conserver la chaleur, l'air étant un mauvais conducteur du calorique, et d'offrir aux parois la facilité de se dilater sans trop faire fendre les maçonneries extérieures.

Il ne faut jamais employer de fraisil, de cendres ou de sable pour remplir l'intervalle réservé entre la chemise et la première contre-paroi ; le fraisil brûle et laisse un vide qui fait crever la chemise ; le sable ou les cendres, s'écoulant par les fissures, produisent le même effet, et peuvent forcer d'ar-

rêter le fondage; mais ces matériaux peuvent être placés sans inconvénient entre la première et la seconde contre-paroi.

La première contre-paroi est ordinairement construite en briques réfractaires ou demi-réfractaires de 25 centimètres de longueur; la seconde contre-paroi est faite avec de bonnes briques ordinaires, de 22 centimètres de longueur.

On donne le nom de *corroi* au remplissage de l'espace qu'on laisse subsister, soit entre les parois et fausses-parois de cuve, soit entre ces parois et les maçonneries extérieures.

DISPOSITIONS EXTÉRIEURES.

Conduites de vent. Le vent envoyé par les machines soufflantes est conduit aux tuyères par des tuyaux en fonte ou en tôle, dont la disposition peut varier de plusieurs manières, selon qu'il s'agit d'alimenter un ou plusieurs fourneaux.

S'il n'y a qu'un seul fourneau à une ou deux tuyères, on peut y amener le vent, en plaçant les tuyaux à hauteur de tuyères, comme l'indiquent les *fig.* 1 et 2, Pl. 10, ou en-dessous du sol, comme on le voit *fig.* 3 et 4. Dans les deux cas, les tuyaux peuvent circuler autour de la base du fourneau, ou passer dans une voûte circulaire construite dans le massif postérieur; mais il est préférable d'enterrer la conduite et de la relever vis-à-vis de chaque tuyère, parce que la circulation dans les embrasures en est moins gênée. Cette disposition peut, d'ailleurs, s'adapter à un fourneau à trois tuyères, tandis que l'autre serait très incommode pour le service.

Lorsqu'il y a plusieurs fourneaux, ils sont ordinairement placés sur une même ligne, et l'on établit une conduite principale de laquelle partent des embranchemens pour donner le vent à chaque tuyère, comme l'indiquent les *fig.* 5 et 6, 7 et 8.

Dans la première disposition, la conduite principale EF passe sous le milieu des fourneaux, a des embranchemens F', F' pour porter le vent aux tuyères de derrière, et des tuyaux verticaux traversant les voûtes pour relever le vent dans les embrasures.

Cette disposition est simple et économique, mais la prise de vent pour chaque tuyère étant faite sur la conduite principale, on ne peut, en cas de réparations à l'une des distributions, les faire sans arrêter momentanément le travail de tous les fourneaux. C'est d'ailleurs un très faible inconvénient, parce que de telles réparations sont très rares, si les conduites ont été bien posées et bien assemblées.

Pour rendre les distributions de vent indépendantes les unes des autres, il faut adopter une disposition dans le genre de celle représentée *fig.* 7 et 8. La conduite principale EF passe derrière les fourneaux, et porte des tubulures placées vis-à-vis le milieu de chaque base; à ces tubulures sont adaptées des boîtes H, H, renfermant un obturateur quelconque pour arrêter ou donner le vent à volonté, et de ces boîtes partent des embranchemens qui portent le vent à chaque tuyère. Le principal avantage de cette disposition plus chère et plus compliquée que la précédente, est de pouvoir ôter le vent à toutes les tuyères d'un fourneau à la fois, en manœuvrant le seul obturateur contenu dans une des boîtes H.

Pour conduire le vent, on doit préférer les tuyaux en fonte aux tuyaux en tôle, parce qu'ils sont moins exposés à avoir des fuites, qu'ils sont d'un plus facile assemblage et plus durables. On ne fait ordinairement en tôle que la conduite principale lorsqu'elle doit avoir un très grand diamètre, parce qu'alors il y a économie de dépense; mais il faut avoir soin de la goudronner ou de la peindre à l'huile, pour la préserver de l'oxidation.

Fondations. Pour établir le tracé des fondations, il faut avoir égard à la nature du terrain sur lequel on doit s'asseoir, au nombre des fourneaux à construire et au mode de distribution de vent qu'on se propose d'adopter.

Lorsqu'on rencontre un roc solide à peu de distance du sol, les fondations ne sont en général qu'un massif plus au moins épais, ayant 15 à 20 centimètres de saillie sur la base des fourneaux, et dans lequel on réserve une petite voûte ou *cave* sous chaque creuset, afin que ce dernier soit préservé de l'humidité. Cette cave peut être creusée en partie dans le roc, et, dans tous les cas, il est bon de lui donner une communication avec l'extérieur, pour faciliter le dégagement des vapeurs qui peuvent se former.

Si, par la nature du sol, on est obligé d'avoir des fondations plus profondes, alors, tant par économie de construction que pour se mettre à l'abri de l'humidité, on fait les voûtes plus spacieuses et plus élevées. Dans tous les cas, il faut les monter assez haut pour que le creuset étant construit, sa sole soit au moins de $0^{m}30$ au-dessus du terrain, et à l'abri de l'envahissement des eaux si l'on avait à craindre des débordemens de rivières.

Lorsqu'on n'a qu'un seul fourneau à construire, les tuyaux qui conduisent le vent aux tuyères ne sont presque jamais placés dans les fondations, et on n'a pas besoin d'y avoir égard. Dans ce cas, on établit ordinairement des voûtes qui se croisent sous le creuset, comme l'indiquent les *fig.* 1 et 2, Pl. 10, de manière à conserver des massifs solides sous les piliers des embra-

sures. Cette méthode est la meilleure, parce qu'elle assure la solidité des constructions supérieures. Quelquefois la cave du fourneau se compose de deux voûtes parallèles CC, CC, *fig.* 3 et 4, communiquant entre elles sous le creuset; mais comme, dans cette disposition, tous les massifs supérieurs reposent en partie sur des vides, on ne peut l'adopter qu'autant qu'on dispose d'excellens matériaux, et que le terrain sur lequel on fonde n'est pas compressible.

Lorsqu'on doit construire plusieurs fourneaux, il est avantageux de les accoler, c'est-à-dire de les réunir par la base, et alors il faut pour disposer ses fondations fixer à l'avance le mode de distribution de vent.

Si la conduite de vent doit passer sous les fourneaux, comme le font voir les *fig.* 5 et 6, Pl. 10, on établit une grande voûte longitudinale recoupée par des voûtes sous les creusets, de manière à pouvoir porter le vent vis-à-vis chaque tuyère. Ces voûtes doivent alors être assez larges et assez élevées pour qu'on puisse y poser facilement les tuyaux. On réserve dans leur cintre des passages pour les tuyaux qui relèvent le vent dans les embrasures, et des ouvertures permanentes *m, m, fig.* 5, pour pouvoir y descendre au besoin.

Si l'on veut disposer la conduite de vent comme dans les *fig.* 7 et 8, il suffit d'établir une seule voûte longitudinale passant sous les creusets, et une tranchée garnie de petits murs pour y placer la conduite de vent principale. Les voûtes doivent avoir au moins 0^m50 d'épaisseur à la clé.

Dans tous les cas, le sol des caves des fourneaux doit être disposé en pente pour conduire les eaux d'infiltration soit dans un puisard, soit dans un petit canal qui puisse leur donner issue.

Formes extérieures des hauts-fourneaux. On ne fait plus usage aujourd'hui que de deux espèces de forme extérieure pour les hauts-fourneaux : 1° celle d'une pyramide tronquée quadrangulaire, depuis le dessus des fondations jusqu'au gueulard, comme l'indiquent les Pl. 11, 12 et 14; 2° celle d'un *dé* ou prisme droit à section carrée formant la base de la construction, surmonté d'un cône tronqué qui entoure la cuve et s'élève jusqu'au gueulard, ainsi que le représentent les Pl. 13 et 17.

Toute cette enveloppe extérieure des parois réfractaires des hauts-fourneaux porte le nom de *double muraillement;* elle a pour but de consolider les constructions intérieures et d'empêcher une trop grande déperdition de chaleur.

Le double muraillement est généralement construit en maçonnerie; mais

quelquefois, en vue d'économie et de célérité, on en fait une partie en terre fortement battue dans des cadres en bois, ainsi qu'on l'indiquera à l'article *construction*.

Dans quelques usines anglaises, on a supprimé avec succès le double muraillement autour de la cuve, laquelle s'élève alors à nu au-dessus du dé qui forme la base du fourneau, comme l'indique la Pl. 13, *fig*. 9 et 10. Dans ce genre de construction, la cuve n'a quelquefois qu'une seule paroi faite en briques réfractaires de 50 à 55 centimètres de longueur; mais le plus ordinairement on lui donne deux parois en briques réfractaires de 35 à 40 centimètres de longueur, séparées par un corroi de 8 à 10 centimètres.

Cette construction légère est consolidée par des cercles et des barres de fer. (*Voyez* Descriptions, 1re partie, p. 28 et 29.)

D'après les renseignemens recueillis en Angleterre par MM. Dufrénoy et Élie de Beaumont, ingénieurs des mines, il paraît que ces fourneaux durent aussi long-temps que ceux qui ont un double muraillement, et que l'on en obtient d'aussi bons résultats.

Quelle que soit la forme des fourneaux, on ménage dans leur base des embrasures, soit pour faire écouler les laitiers et la fonte, soit pour amener le vent dans leur capacité intérieure. Ces embrasures, qui s'ouvrent immédiatement au-dessus des fondations, ne sont très souvent qu'au nombre de deux pour les petits fourneaux au charbon de bois, l'une donnant accès au-devant du creuset, l'autre à la tuyère. Plus généralement, et surtout pour les plus grands fourneaux au bois, on ménage trois embrasures, lors même qu'on n'emploie qu'une tuyère. L'une de ces embrasures est placée sur le devant, les deux autres sur les costières, comme l'indiquent les Pl. 12 et 13.

Les fourneaux à coke doivent toujours être pourvus de trois embrasures au moins; on leur en donne souvent une quatrième du côté de la rustine, soit pour lancer le vent par un troisième côté, soit pour travailler de ce côté au besoin. Les planches 13 et 14 font voir ces dernières dispositions.

Les embrasures sont séparées les unes des autres par des massifs solidement construits, R, R, Pl. 10, *fig*. 2, 4, 6 et 8, que l'on nomme *piliers d'embrasures* ou *piliers de cœur*. Elles sont recouvertes, soit par une voûte conique, Pl, 13, *fig*. 5 et 9; Pl. 12 et 14, *fig*. 5; soit par un ciel formant un plan incliné, soutenu par des pièces de fonte que l'on nomme *marâtres*, Pl. 10, *fig*. 1; Pl. 11, *fig* 1, 3 et 5.

Les embrasures prennent le nom des parties correspondantes du creuset : celle de devant se nomme *embrasure de travail*; celle opposée, *embrasure*

de rustine; les autres prennent le nom d'*embrasures de tuyères* ou *de costières*, mais on les appelle aussi *embrasures latérales*.

Quelquefois on réserve dans les piliers et dans le massif postérieur, des passages circulaires voûtés, comme on le voit Pl. 10, *fig.* 1 et 2, 7 et 8; ces passages ont pour but de faciliter le dessèchement des masses, d'établir des communications plus courtes entre les embrasures, ou de recevoir une conduite de vent. On leur donne de 0^m80 à 1^m de largeur et une hauteur au moins suffisante pour qu'un ouvrier puisse s'y tenir debout.

Le double muraillement des hauts-fourneaux est ordinairement couronné d'un parapet en maçonnerie que l'on nomme *batailles*, qui sert à la fois de garde-corps et d'abri contre le vent (*Voyez* Pl. 12 et 14). Dans les fourneaux dont le double muraillement a peu d'épaisseur, on remplace les batailles par une balustrade en fer, afin de laisser plus d'espace libre autour de la cheminée, comme l'indiquent les *fig.* 1, 3 et 5, Pl. 13.

Les hauts-fourneaux à coke et beaucoup de grands fourneaux au charbon de bois, sont découverts; mais on recouvre ordinairement les petits et moyens fourneaux au charbon de bois, d'une toiture qui repose sur les batailles et livre passage à la cheminée, ainsi qu'on le voit Pl. 11, *fig.* 1, 3 et 5. Cette toiture tient lieu des hangars qu'il faut construire derrière les fourneaux découverts pour y déposer les charges et abriter les ouvriers. Cette disposition exige un double muraillement très épais, dont la dépense serait trop considérable pour des fourneaux de grandes dimensions.

Dans tous les genres de construction des doubles muraillemens en maçonnerie, on ménage de distance en distance et dans différens sens, des évents ou canaux destinés à faciliter le dessèchement et à laisser évacuer la vapeur, qui, se produisant en grande abondance lorsqu'on met un fourneau en feu, ferait fendre les maçonneries si on ne lui offrait des issues nombreuses et faciles. L'inspection des planches et la lecture de leurs descriptions feront connaître les dispositions précédemment indiquées d'une manière générale.

Dimensions extérieures. C'est de la cuve que dépendent les dimensions extérieures des hauts-fourneaux. Il faut donc, pour les établir, faire d'abord le tracé intérieur du fourneau, indiquer l'épaisseur des parois et contre-parois de la cuve et y ajouter l'espace réservé pour les corrois. L'épaisseur du double muraillement se détermine ensuite au minimum, de manière qu'entre les batailles et la cheminée, il reste un espace suffisant pour la circulation. Cet espace devant être au moins d'un mètre, et les batailles ayant

environ 0^m30 d'épaisseur, il s'en suit que l'épaisseur du double muraillement, mesurée perpendiculairement aux côtés du fourneau, s'il est de forme pyramidale, ne doit pas être moindre de 1^m30. Cette dimension est strictement applicable à des fourneaux de 7 à 8^m de hauteur au plus, mais plus ordinairement on la porte à 1^m45 ou 1^m50. A mesure que la hauteur s'accroît, la pression des matières devenant plus forte contre les parois intérieures, l'épaisseur du double muraillement doit augmenter. Pour des fourneaux de 9 à 10^m de hauteur, on lui donne de 1^m60 à 1^m70; pour des fourneaux de 10 à 12^m, elle est ordinairement de 1^m80 à 1^m90, et on la porte jusqu'à 2^m ou 2^m10, pour les fourneaux de 14 à 16^m délévation. Si l'on fait usage de contre-parois, leur épaisseur est le plus souvent comprise dans celle du double muraillement. Du reste, toutes ces dimensions seraient insuffisantes pour résister à la fois à l'action de la pression et de la dilatation, et elles exigent que la construction soit consolidée par des armatures en fer.

Lorsqu'on ne veut pas employer d'armatures, l'épaisseur du double muraillement doit être de 3^m au moins, et souvent on lui donne jusqu'à 3^m50 et 4^m. C'est ce qui se pratique pour les petits fourneaux au bois, où l'on a pour but principal de se procurer un vaste espace autour du gueulard, pour y déposer les matières. La Pl. 11 indique un exemple de ce genre de construction.

Dans tous les cas, il est avantageux de se ménager les moyens d'agrandir au besoin le ventre du fourneau, et, dans ce but, en faisant le tracé intérieur, on réserve un plus grand espace pour les corois.

Généralement, le profil extérieur du double muraillement est parallèle au profil extérieur de la chemise ou des contre-parois. On ne déroge à cette règle que pour rendre le plan du gueulard plus étendu, en accroissant un peu les épaisseurs vers le haut; mais il est préférable et d'un meilleur effet, d'atteindre le même but au moyen d'une corniche plus ou moins saillante, comme l'indiquent les *fig.* 1, 3 et 5, Pl. 13.

Pour les fourneaux de forme pyramidale, la largeur de la base est déterminée par le prolongement des profils extérieurs jusqu'à la rencontre du sol.

Pour les fourneaux coniques placés sur une base prismatique, les lignes de profils extérieurs sont prolongées seulement jusqu'au tiers de la hauteur du fourneau à partir de la base, ou encore jusqu'au plan supérieur des étalages; et des lignes verticales partant de ces points déterminent la largeur de la base, dont la forme est toujours carrée.

Les batailles ou parapets ont de 1m20 à 2m de hauteur. On réserve, au moins du côté de l'embrasure de travail, une ouverture ou des crénaux, à hauteur d'appui, pour que les chargeurs puissent voir ce qui se passe au bas du fourneau, et dirigent leur travail en conséquence.

Dispositions et dimensions des embrasures. Le plan des embrasures est toujours un trapèze dont les dimensions varient un peu avec la grandeur des fourneaux. L'embrasure de travail doit être plus spacieuse que les autres; on lui donne de 3m60 à 4m50 de largeur extérieure, sur 2m à 2m60 de largeur intérieure. De plus grandes dimensions sont superflues, et ne font qu'affaiblir les piliers de cœur. La hauteur intérieure ne doit pas être moindre de 1m80 à 2m, jusqu'à la naissance du cintre, si l'embrasure est voûtée; la hauteur extérieure est déterminée par l'évasement des côtés, la voûte étant ordinairement à plein-cintre. Pour les embrasures à ciel incliné, la hauteur intérieure est de 2m au moins, et on leur donne de 4 à 5m de hauteur extérieure, selon l'élévation des fourneaux.

Les embrasures de tuyères ont des dimensions suffisantes pour le service en leur donnant 3m à 3m60 de largeur extérieure, 1m75 à 2m de largeur intérieure, et 2m à 2m30 de plus petite hauteur; mais il est préférable de leur donner des dimensions un peu plus considérables, surtout en hauteur, lorsque la grandeur du fourneau le permet.

Quelquefois les embrasures coniques ont leur cintre extérieur terminé par une bande cylindrique de 30 à 40 centimètres de largeur, comme l'indiquent les lettres *x*, *x*, Pl. 13, *fig.* 1, 3 et 5. Cette bande n'est utile que pour l'embrasure de travail, parce qu'elle sert alors à rabattre les étincelles qui s'échappent de la tympe lorsqu'on fait les coulées, et qui, sans cette précaution, pourraient mettre le feu à la charpente de la fonderie. On peut du reste la remplacer avantageusement par un garde-feu en tôle, *xy*, Pl. 8, *fig.* 3, et Pl. 14, *fig.* 7.

Généralement on place à l'intérieur des embrasures, une ou plusieurs fortes pièces de fonte *m*, *m*, comme l'indiquent les coupes et élévations des Pl. 13 et 14; ces pièces, que l'on nomme *marâtres*, ont pour but principal de soutenir les constructions supérieures, et servent en outre, dans l'embrasure de travail, à appuyer les montans de creuset *nn*, *fig.* 1 et 5, Pl. 13. Lorsqu'on donne de très grandes dimensions en hauteur aux embrasures de tuyères, on appuie sur les marâtres des plaques en fonte *qq*, *fig.* 1 et 3, Pl. 13, pour soutenir la partie correspondante des étalages. Les marâtres sont indispensables dans l'embrasure de travail, mais on peut

les supprimer dans les embrasures de tuyères, en adoptant une disposition analogue à celles indiquées par la *fig.* 1, Pl 12, ou par les *fig.* 9, 10, Pl. 13.

Armatures. On désigne par ce nom, l'ensemble des pièces en fer et en fonte qui servent à consolider les maçonneries extérieures des hauts-fourneaux, et sans lesquelles ces maçonneries ne pourraient résister à l'action de la pression et de la dilatation.

Les armatures pour les fourneaux carrés se composent de forts tirans en fer carré de 18 à 21 lignes, placés près des angles, et traversant le double muraillement; ils sont disposés alternativement sur les faces de manière à ne pas se rencontrer, comme l'indiquent les Pl. 12 et 14. Ces tirans traversent extérieurement de larges rondelles ou des plaques de fonte retenues et serrées contre la maçonnerie, soit par des clavettes, soit par des écrous; ou bien encore, ils sont terminés par des boucles carrées dans lesquelles passent des barres de fer ou *ancres*, retenues par des clavettes.

On doit éviter l'emploi des ancres en forme de S ou de X, parce qu'ils ne retiennent que faiblement les maçonneries, se ploient et souvent se brisent à l'endroit où ils s'assemblent aux tirans.

On commence à placer les armatures immédiatement au-dessus des embrasures, et on les fait passer à peu près dans le milieu de la moindre épaisseur du double muraillement.

Quelquefois on place dans la base, au-dessus des embrasures, des armatures allant d'un milieu à l'autre des faces adjacentes, comme l'indique la fig. 4, Pl. 14, parce que ces parties plus faibles cèdent le plus facilement à l'action de la dilatation. Il serait bon, par les mêmes motifs, d'employer ce genre d'armature dans toute la hauteur des fourneaux, de préférence aux précédentes dispositions.

On peut atteindre le même but avec ces dernières qui retiennent fortement les angles, en faisant les faces légèrement concaves, en forme de cintres qui s'appuient sur ces angles. Cette disposition, employée par M. Communeau dans la construction des fourneaux d'Alais, a eu de bons résultats, et les maçonneries faites avec soin dans ce système sont moins sujettes à se fendre.

Les armatures de fourneaux ronds se composent, soit de forts cercles en fer plat, placés de distance en distance, comme l'indique la *fig.* 5, Pl. 13; soit de cercles et de bandes droites encastrées dans la maçonnerie, comme on le voit *fig.* 9 et 10. Les cercles sont formés de plusieurs parties assem-

blées par des clavettes, et, autant que possible, il faut les placer sur les joints des assises de pierres, afin de consolider à la fois une plus grande partie de la construction.

Les cercles et les bandes ont de 6 à 8 lignes d'épaisseur sur 4 à 6 pouces de largeur, et les cercles sont espacés de 60 à 80 centimètres au plus.

La base de ces fourneaux est armée suivant l'un des précédens systèmes.

Dans tous les cas, les armatures ne doivent être que médiocrement serrées, afin qu'elles ne cassent pas lorsqu'on met le fourneau à feu.

Les armatures de cheminées se font en fer feuillard de 8 à 10 centimètres de largeur, et se posent de la même manière que les cercles des fourneaux ronds.

Fourneaux accolés. Lorsque plusieurs fourneaux doivent être établis dans une même usine, il est avantageux de les accoler, c'est-à-dire de les réunir base à base. Dans ce cas, on réserve un passage de $1^{m}30$ à 2^{m} de largeur entre les fourneaux, pour le service des tuyères; et lorsqu'on veut faire usage de l'air chaud, il est bon de donner plus de largeur à ces passages, soit pour la disposition des appareils, soit pour que les ouvriers se trouvent moins incommodés par la chaleur.

Les passages ne doivent pas être entièrement fermés en-dessus, afin que la chaleur, et la fumée dans certains cas, puissent se dégager. On peut, dans ce but, placer un tuyau d'évacuation, comme on le voit, en S, Pl. 10, *fig.* 5; établir une petite voûte de dégagement S, *fig.* 7, ou bien laisser une coupure dans la voûte du passage, comme il est représenté en NN, *fig.* 3 et 4, Pl. 13.

Les batailles ou parapets des fourneaux accolés peuvent être isolés, ou liés comme l'indique la *fig.* 7, Pl. 10. Cette liaison est de peu d'utilité, et augmente la dépense de construction.

On donne assez généralement la forme carrée aux fourneaux accolés, et néanmoins cette forme est la moins commode, par la difficulté, ou même l'impossibilité qu'elle présente au changement des tirans qui viennent à casser dans les fourneaux intermédiaires. Cette forme a, d'ailleurs, l'inconvénient de ne pas offrir une résistance égale partout; il vaudrait donc mieux, dans tous les cas, adopter la forme ronde, à la fois plus légère et plus également résistante.

Emplacement des hauts-fourneaux. Autant que possible, on doit profiter des accidens de terrain pour placer les fourneaux plus avantageusement; et s'il se rencontre un tertre ou un escarpement assez élevé, il faut

y adosser les hauts-fourneaux. Dans ce cas, on construit un bon mur de soutenement M, M, *fig.* 1 et 2, Pl. 19, dont la base est éloignée de 2 à 3 mètres de celle des fourneaux, et qui s'élève jusqu'au niveau des gueulards. On dispose alors, en arrière de ce mur, une plate-forme ou des plates-formes étagées sur lesquelles on peut établir des fours de grillage, des dépôts de minerais, des magasins de combustibles, les hangars nécessaires au service, de petits chemins de fer pour faciliter les transports, etc.

Cette disposition est surtout avantageuse lorsque les matières premières arrivent d'un point supérieur à la plate-forme, ou lorsqu'arrivant d'un point inférieur, elles peuvent y être conduites immédiatement. Il en résulte une grande économie de main-d'œuvre, moins de déchet de matières, plus de commodité pour le service et pour la surveillance; avantages qui compensent, et au-delà, les frais d'un tel établissement.

Il faut avoir le plus grand soin d'éloigner les eaux des murs de soutenement, et de régler les pentes des plates-formes, de manière à donner à ces eaux un écoulement facile.

Lorsqu'on est obligé de placer des fourneaux en plaine, on construit en arrière un bâtiment contigu ou peu distant, dont le plancher supérieur s'élève à la hauteur des gueulards, présente assez d'emplacement pour les divers services, et pour y déposer au besoin les matières nécessaires pendant une demi-journée, dans le cas où les appareils qui servent à élever les charges exigeraient des réparations un peu longues.

On place dans ce bâtiment des machines ou des ateliers, ou bien on y établit des logemens pour les ouvriers fondeurs.

La Pl. 17 indique une disposition de ce genre, et fait voir le plan incliné G H, *fig.* 1 et 2, sur lequel des chariots V, V', transportent les matières jusqu'au sommet du fourneau.

Dans cette disposition, les magasins de combustibles ou les ateliers de carbonisation, les dépôts de minerais et fondans et les fours de grillage, doivent être placés à proximité du bas du plan incliné.

Les plans inclinés s'emploient aussi dans la disposition de fourneaux adossés à une colline, lorsqu'une partie des matières arrivant par le bas des fourneaux, on n'a pas de moyens plus commodes pour les transporter sur les plates-formes ou dans les magasins.

La communication entre les plates-formes ou les planchers de chargement et les fourneaux, s'établit par de petits ponts en bois, en fonte ou en maçonnerie.

Fonderies, hangars de chargement. Il faut devant les fourneaux, du côté de l'embrasure de travail, un bâtiment de fonderie, assez vaste pour tous les besoins du service. Pour des fourneaux à coke de grandes dimensions, l'emplacement de la fonderie correspondante à chaque fourneau ne doit pas avoir moins de 144 à 150 mètres carrés de surface intérieurement; et si l'on veut non-seulement couler la fonte en *saumons* ou en *gueuses*, mais encore fabriquer des moulages, il faut un espace triple ou quadruple, suivant l'importance de la moulerie, et les moyens d'exécution que l'on veut employer.

Dans tous les cas, les bâtimens de fonderie doivent avoir leur charpente assez élevée, afin de la soustraire le plus possible aux chances d'incendie, et l'on doit préférer, dans ce cas, les combles en fer aux combles en bois.

Ces bâtimens doivent être bien aérés et pourvus de larges portes pour la facilité du service.

Les hangards de chargement s'établissent sur la plate-forme située en arrière des hauts-fourneaux, et s'appuyent immédiatement sur le mur de soutenement. Une largeur égale à celle de la base des fourneaux, sur 6 à 8 mètres de profondeur, forme une surface suffisante pour le service auquel ces hangars sont destinés; c'est-à-dire pour recevoir une partie des approvisionnemens journaliers, les balances qui servent au pesage des charges, et pour abriter les ouvriers.

Ateliers et locaux accessoires. Indépendamment des fonderies, hangars et magasins de combustibles, il faut, dans un établissement de hauts-fourneaux, de vastes emplacemens pour déposer les fontes, pour établir au besoin un atelier de carbonisation, et surtout un terrain assez étendu ou quelque endroit abrupt pour en faire un *crassier*, c'est-à-dire pour y déposer les laitiers et tous les débris des fonderies.

Il faut en outre un atelier de forge et d'ajustage pour l'entretien des outils et des machines; un atelier de menuiserie et de charronnage; des magasins pour les matières grasses et pour les métaux; enfin une briqueterie pour fabriquer au besoin des briques réfractaires, ou au moins des magasins pour les conserver, si on peut se les procurer du dehors (1).

(1) Une briqueterie dans laquelle on veut fabriquer de 20,000 à 30,000 kil. de briques réfractaires par mois, exige un emplacement d'environ 400 mètres carrés, dont moitié pour déposer les matières triturées, les matières fabriquées, et pour faire les pâtes, et moitié

Il est presqu'inutile d'ajouter que toute usine tant soit peu importante doit être close, et ne doit pas admettre de logemens d'ouvriers dans son enceinte.

SECTION IV.

CONSTRUCTION DES HAUTS-FOURNEAUX.

Dans la construction des hauts-fourneaux, on a à considérer la nature du terrain sur lequel on doit s'établir, le choix des matériaux, la marche à suivre et les précautions à prendre, tant pour le travail des maçonneries extérieures, que pour celles de l'intérieur.

On peut s'établir immédiatement sur les terrains rocailleux, sur les gros graviers et sur les bancs de pouddingue, sans autre soin que d'aplanir l'espace nécessaire aux fondations.

Si l'on ne rencontre que du sable, il faut faire un grillage en bois composé d'au moins deux couches d'arbres posés en sens différens; et l'on remplit les interstices avec du beton, ou avec de la pierraille maçonnée à bain de mortier, et bien battue.

Lorsque le terrain sur lequel on doit asseoir les fondations est mou et fangeux, mais également compressible, un grillage fait avec soin peut encore suffire dans le plus grand nombre de cas, l'essentiel étant moins de n'avoir pas de tassement, que d'avoir un tassement égal. Mais si le terrain est inégalement compressible, il faut avoir recours à l'emploi de pilotis, reliés par des chapeaux, et recouvrir le tout d'un fort plancher de madriers. Il suffit de piloter sous les massifs entre lesquels les passages voûtés sont compris.

Le grillage ou le pilotage doit, sur tout son pourtour, excéder de 20 à 25 centimètres la largeur de la fondation, qui elle-même forme une saillie de 15 à 20 centimètres sur la base des fourneaux.

On peut employer dans les fondations toute espèce de matériaux, en choisissant néanmoins les pierres qui présentent le plus de résistance à

pour le moulage et le séchage des briques. Il faut en outre un local pour la trituration des matières, et un four à cuire les briques, placés près de la briqueterie.

l'écrasement, et en évitant celles qui sont susceptibles de se déliter par l'effet de l'humidité.

Le double muraillement des hauts-fourneaux peut se construire avec toutes les sortes de pierres qui ne sont pas susceptibles de s'éclater par l'action de la chaleur; toutefois, il faut éviter l'emploi des pierres calcaires dans l'embrasure de travail et dans le bas des autres embrasures, parce que ces parties, étant souvent en contact avec le feu lorsqu'on nettoie le creuset ou les tuyères, seraient très promptement détruites. Le calcaire est aussi d'un mauvais emploi autour de la cuve.

Les grès ordinaires, le grès houiller à grains fins, le schiste micacé, le gneiss, le granit et les briques ordinaires, sont les matériaux auxquels on doit donner la préférence.

Quels que soient les matériaux employés, mais surtout lorsque l'on construit en moëllons ou en briques, les angles des fourneaux et les arêtes d'embrasures doivent être faits en fortes pierres de taille boutisses et carreaux.

Toute la maçonnerie extérieure se fait avec du mortier ordinaire à chaux et sable; mais, pour l'enveloppe immédiate de la cuve, il est préférable d'employer comme mortier, de la terre grasse ou terre à potier délayée dans l'eau, parce que le mortier ordinaire peut fondre et entraîner la fusion des matériaux réfractaires, au moins lorsque la cuve n'a qu'une simple chemise.

Quelquefois, ainsi que cela se pratique encore en Suède, on n'élève le double muraillement en maçonnerie que jusqu'au-dessus des voûtes; on le prolonge ensuite avec des cadres en bois sec et résineux, superposés et consolidés par des tirans en fer ou par des clavettes en bois, puis on remplit l'espace compris entre ces cadres et les parois de cuve, avec de la terre demi-grasse damée avec beaucoup de soin. Ce genre de construction est très économique, concentre bien la chaleur, et peut être appliqué aux petits fourneaux.

En Angleterre, où la fonte est à très bas prix, on a employé des moyens analogues, en remplaçant les cadres de bois par des châssis en fonte de forme circulaire, et renforcés par des brides qui forment les surfaces de jonction. Ces châssis sont composés de trois ou quatre parties assemblées à clavettes ou à boulons.

Pour les constructions intérieures, il est très important de n'employer que les matériaux les plus réfractaires, parce que de là dépend la durée du

fondage. Pour les fourneaux au charbon de bois, on fait ordinairement usage de grés siliceux à grains fins, en rejetant celui qui est ferrugineux ou traversé par des veines ferrugineuses. Quelquefois on emploie le schiste micacé, le talc schisteux, le gneiss et le granit; mais il faut préalablement s'assurer que ces roches sont infusibles, et ne peuvent s'égrener par la chaleur.

Ces qualités doivent être portées au plus haut degré pour les fourneaux à coke, dont la température est de beaucoup supérieure à celles des fourneaux au charbon de bois. Assez souvent, et surtout en Angleterre, on construit le creuset et l'ouvrage en grés réfractaire à grains fins, ou en grés composé de galets siliceux et d'une pâte de même nature; le reste se construit en briques réfractaires (1). Ces dernières, lorsqu'elles sont de bonne qualité et confectionnées avec précision, constituent les meilleurs matériaux dont on puisse faire usage pour les constructions intérieures des hauts-fourneaux. Elles sont presque exclusivement employées en France, où le grés réfractaire de bonne qualité est assez rare.

Pour toute la construction intérieure, au lieu de mortier, on fait usage

(1) Les matières dont on se sert pour fabriquer les briques réfractaires sont :

Les terres alumineuses ou alumino-siliceuses pures, désignées sous le nom d'*argile réfractaire*. Leur couleur est le blanc grisâtre, le gris clair et le gris rougeâtre. Trop rouges, elles doivent être rejetées, parce qu'elles contiennent trop d'oxide de fer, et ne sont plus aussi réfractaires.

Le quartz pur en sable ou en roche. On grille et on trie ce dernier, pour le rendre plus facilement divisible, et pour en séparer les veinules d'oxide de fer.

Les briques réfractaires de démolition, cassées et triées pour en ôter toutes les parties mises en fusion ou mélangées à du laitier.

Toutes ces matières, pulvérisées et tamisées, sont mélangées à sec dans les proportions ci-après, variables un peu en plus ou en moins, selon que la terre alumineuse est plus ou moins grasse :

Argile réfractaire......	3 hectol.	ou bien :	Argile réfractaire.....	3 hectol.
Quartz pilé...........	4		Quartz pilé..........	2
			Vieille brique........	3

De ces mélanges, on compose une pâte ferme aussi homogène que possible, que l'on bat fortement ou que l'on comprime dans des moules. On fait sécher avec lenteur et par une chaleur graduée, puis on recoupe les briques aux dimensions et dans les formes voulues.

On les fait ensuite cuire, en graduant la chaleur de manière qu'elles parviennent au rouge blanc après huit ou dix jours seulement.

Les briques cuites doivent être conservées à l'abri de l'humidité.

d'une pâte liquide d'argile réfractaire, ou mieux, de même composition que les briques, passée au tamis fin. Les joints des pierres ou des briques doivent être très minces et aussi serrés que possible.

Toute cette partie de la construction doit être faite avec le plus grand soin, surtout dans les fourneaux à coke, parce qu'une maçonnerie mal faite, en se fondant ou en se détachant par morceaux, forcerait bientôt d'interrompre le fondage.

CONSTRUCTIONS EXTÉRIEURES.

Lorsque l'on construit sur grillage, on commence par établir sur tout ce grillage un lit de maçonnerie de 60 à 65 centimètres d'épaisseur, en forts libages, serrés et hourdés avec soin. Il en est de même si l'on a fait un pilotage général.

Après avoir fait ce premier lit, on élève les massifs, et l'on construit les voûtes avec le plus de soin possible. On construit immédiatement les massifs dans le cas d'un pilotage partiel, ou lorsqu'on s'établit directement sur le terrain.

Les voûtes étant recouvertes, on arrase les maçonneries à hauteur de la base des fourneaux, en couronnant tout le pourtour en pierres de grandes dimensions, à cause de la retraite que doit faire cette base; et l'on trace le plan des embrasures ainsi que le vide à réserver pour établir le creuset.

On élève alors les piliers de cœur jusqu'à hauteur de la naissance des voûtes d'embrasures, en réservant dans ces piliers des canaux d'assèchement, comme l'indiquent les lettres *z, z,* Pl. 14, *fig.* 4. On réserve aussi dans le centre de chaque massif, une cheminée H qui s'élève jusqu'au sommet du fourneau, s'il est pyramidal; ou jusqu'au haut de la base, si le fourneau est en tour conique. Ces cheminées débouchent extérieurement, par le bas, soit dans les embrasures, soit sur les faces du fourneau.

A hauteur de la naissance des voûtes ou du ciel d'embrasure, on place les marâtres *m, m,* puis on construit les voûtes. On doit, pour ces dernières, employer de préférence les briques, qui rendent la construction plus facile, plus prompte et plus économique, sans nuire en rien à sa solidité.

On plante alors un arbre vertical AB, *fig.* 1, dans l'axe du fourneau, et l'on y adapte le gabari ou calibre tournant *nn'*, à l'aide duquel on donne au vide intérieur la forme voulue. (*Voyez* la description de la Pl. 14)

L'espace réservé pour la construction du creuset et de l'ouvrage étant de forme carrée, avant de commencer la construction du double muraillement

de la cuve, dont la forme intérieure est circulaire, on place dans les angles des plaques de fonte C, C, dites *cornettes*, pour supporter les constructions supérieures. On élève ensuite la maçonnerie par assises horizontales, en réservant de distance en distance des canaux d'assèchement, traversant les massifs de part en part.

A partir du dessus des voûtes, et à mesure qu'on s'élève, s'il s'agit d'un fourneau pyramidal, on établit les passages des armatures, et on place ces armatures. S'il s'agit d'un fourneau conique, on peut placer immédiatement les cercles, ou les mettre lorsque toute la construction est finie.

Le fourneau étant élevé à sa hauteur, on place le cordon ou l'entablement qui forme le couronnement, et l'on construit les batailles. Elles sont ordinairement en briques recouvertes par des dalles en pierre ou en fonte, ou encore par des tuiles posées à bain de mortier.

On ne doit pas, lorsqu'on construit en moëllons ou en briques, chercher à hourder trop plein, et l'on se borne pour l'ordinaire à bien faire les joints horizontaux. Les joints verticaux peuvent alors livrer passage à l'air, et il en résulte non seulement que les constructions sèchent plus vite, mais encore qu'elles sont moins sujettes à se fendre lorsque le fourneau est en feu.

CONSTRUCTIONS INTÉRIEURES.

On commence les constructions intérieures par les parois et contre-parois de la cuve. Quelquefois même on monte ces parties en même temps que le double muraillement, mais il est préférable de ne les monter qu'après, parce qu'elles peuvent être alors faites avec plus de soin et de régularité.

On fixe d'abord l'arbre du gabari par sa partie supérieure, afin qu'il reste bien vertical; puis on retaille le gabari de manière qu'il présente le profil $k'l'$ de l'intérieur de la cuve, *fig.* 1, Pl. 14. On commence alors à maçonner en briques et ciment réfractaires, en s'appuyant sur les cornettes C C.

Les briques de la partie conique sont préparées assise par assise, ou par trois ou quatre assises au plus, comme l'indiquent l'épure, *fig.* 1 et 2 de la Pl. 16, et la description y relative. Elles sont recoupées en biseau, de manière que leur réunion forme une surface conique aussi uniforme que possible, et qu'il ne soit pas nécessaire de les retailler.

A mesure qu'on s'élève on fait les corrois, soit entre les parois, s'il y en a plusieurs, soit entre les parois et le double muraillement.

Parvenu au sommet de la cuve, on enlève le gabari et son arbre, on place

les plaques annulaires AA, *fig.* 5 à 8, qui recouvrent la dernière assise, et viennent s'appuyer sur le double muraillement; puis on monte les cadres ou joues J, J, des portes de chargement, avec leur plaque de recouvrement D. On construit alors la cheminée toute en briques réfractaires, et on la consolide par des cercles en fer mince. (Pour les détails, *voyez* la description de la Pl. 16.)

Ce travail terminé, on reprend les constructions par le bas, et l'on fait successivement le creuset, l'ouvrage et les étalages.

Pour établir la sole du creuset, on monte d'abord une ou deux assises de briques réfractaires BB, *fig.* 2 et 3, Pl. 15, que l'on dispose bien horizontalement; puis on construit de petits massifs X, X; Z, Z, *fig.* 8, Pl. 16, laissant entr'eux plusieurs petits canaux communiquant ensemble pour la circulation de l'air. On recouvre ces canaux d'une ou plusieurs plaques de fonte *aa*, *fig.* 2 et 3, Pl. 15, et sur ces plaques on établit deux ou trois assises de larges briques réfractaires DD, en ayant soin que la dernière soit parfaitement horizontale. On construit alors la sole en briques de champ, placées dans le sens de la longueur du creuset, et à joints très serrés.

Lorsqu'on construit en grès, on supprime la plaque de fonte, et l'on cherche autant que possible à faire la sole d'une seule pierre, dans toute l'étendue du creuset.

La sole établie, on place les montans de creuset P, P, *fig.* 1, 2, 6 et 7, on trace la base du creuset; puis on construit les parois F, F, en grosses briques réfractaires, et la contre-paroi G, G, en briques demi-réfractaires, ou même en bonnes briques ordinaires. On place alors la tympe KK, les briques de tuyères H, H et I, puis on monte l'ouvrage dans les formes et dimensions voulues, ainsi qu'il est indiqué en détail par les descriptions.

Sur la dernière assise de l'ouvrage, on trace la circonférence de la base des étalages, et on construit ces derniers avec des briques à biseau, confectionnées pour chaque assise, comme l'indique l'épure, *fig.* 3 et 4, Pl. 16. Si les briques d'étalage ne joignent pas parfaitement celles de la cuve, il faut avoir soin, à chaque assise, de ficher dans les intervalles de la pâte de brique bien battue, car le moindre déjoint, surtout dans les assises supérieures, peut être préjudiciable à la durée de la construction.

Dès que ces travaux sont terminés, on repasse les joints, on raccorde les surfaces en retaillant les briques où il est nécessaire, on s'occupe de la pose des conduites de vent, et du séchage du fourneau, ainsi qu'il sera expliqué dans la sixième section.

SECTION V.

PLANS INCLINÉS, PORTE-VENTS, TUYÈRES ET USTENSILES.

PLANS INCLINÉS.

Lorsque les hauts-fourneaux sont situés en plaine, ou lorsqu'étant adossés à une colline, les matières, en partie ou en totalité, arrivent par en bas, on établit des rampes ou *plans inclinés*, par lesquels on élève ces matières jusqu'à hauteur de gueulard, ou jusqu'aux plates-formes.

Ces plans inclinés s'établissent ordinairement sur charpente, comme l'indiquent les Pl. 17 et 19, et on les recouvre d'un tablier en madriers goudronnés, laissant entr'eux quelques lignes d'intervalle, pour l'écoulement des eaux et pour le jeu des bois. Ils sont garnis de voies en bande de fer ou de fonte, pour diriger les chars sur lesquels on charge les matières à élever.

Lorsqu'on dispose d'une plate-forme assez vaste, et que les matières premières arrivent par voiture, on établit quelquefois des rampes en maçonnerie sur arceaux, afin que les voitures puissent se décharger immédiatement près des magasins ou près du gueulard des fourneaux.

L'angle que forment les plans inclinés avec l'horizon est ordinairement de 25 à 30 degrés. Un angle plus considérable produit, sur les cordages qui tirent les chars, une charge trop grande, oblige à augmenter leur diamètre ainsi que la force motrice, et occasionne des ruptures plus fréquentes.

Les plans inclinés se placent derrière les fourneaux, lorsqu'ils sont en plaine, et entre les fourneaux, ou à côté, lorsqu'ils sont adossés à un mur de soutenement.

Ils doivent satisfaire aux conditions suivantes :

1°. Que leur largeur et le nombre de voies qu'ils portent soient suffisans pour le nombre de fourneaux à desservir ;

2°. Que les chars destinés à élever les matières puissent les recevoir également et avec facilité, soit des bateaux qui les amèneraient, soit des voitures qui les déposeraient au pied de la rampe ;

3°. Que les chars puissent à volonté s'arrêter à hauteur des gueulards de fourneaux, pour y être déchargés au besoin, ou à hauteur des diverses plates-formes, lorsqu'elles sont étagées ;

4°. Que le mécanisme qui doit faire mouvoir les chars reçoive le mouvement le plus directement et le plus simplement possible ; qu'il présente à la fois solidité, simplicité autant que faire se peut, sûreté et facilité dans la manœuvre ;

5°. Que le mouvement de rotation continu, transmis par les machines, puisse se changer à volonté en mouvement de rotation alternatif, afin de faire monter et descendre les chars ;

6°. que le mouvement d'ascension puisse être arrêté par les chars eux-mêmes, dans les endroits nécessaires, sans qu'il soit besoin de suspendre le mouvement de la machine motrice ;

7°. Enfin, que la vitesse du mouvement des chars et leur capacité soient combinées de manière que l'on puisse fournir aux besoins journaliers, et aux approvisionnemens jugés nécessaires.

On peut n'établir qu'une seule voie pour le service d'un fourneau isolé, mais il est toujours préférable d'en établir deux, afin de ne pas être arrêté. Un plan incliné à quatre voies peut desservir quatre fourneaux à coke de grandes dimensions, tels que ceux de Lavoulte, lorsqu'on n'a à élever que le combustible nécessaire aux fourneaux et aux fours de grillage, y compris un tiers en approvisionnement. Il faudrait huit voies ou deux plans inclinés à quatre voies, si l'on avait en outre à élever les minerais et les fondans.

La vitesse des chars étant réglée à 1^m15 par seconde, et la hauteur à laquelle il faut faire parvenir les matières étant de 15 à 20 mètres, le service journalier de chacun de ces plans inclinés peut se faire en 15 à 18 heures, sans trop de fatigue pour les ouvriers.

Pour marcher à cette vitesse, il faut que les chars portent à chaque voyage un mètre cube et demi environ de coke, ou de 420 à 430 kilogrammes de minerais et fondans.

On donne aux voies des plans inclinés 1^m à 1^m20 de largeur, et on laisse dans le milieu de la largeur du plan un espace libre de 0,60 à 0,75 pour y établir un pas de souris ou petit escalier par lequel les ouvriers montent et descendent.

Les chars se font en bois ou en fer léger. Ce dernier mode de construction, dont la Pl. 18, *fig.* 11 à 16, offre un exemple, est préférable sous tous les rapports.

Quant au diamètre à donner au cordage qui tire les chars, en supposant ces derniers du poids de 100 à 120 kilogrammes, et qu'ils soient

chargés d'un poids de 450 kilogrammes, on peut employer des cordes en bon chanvre, de 25 à 27 millimètres de diamètre, et en obtenir un service d'assez longue durée, ainsi qu'il résulte des observations faites par M. Walter sur le plan incliné de l'usine de Lavoulte.

La force nécessaire pour élever les matières nécessaires à l'alimentation complète d'un haut-fourneau de la plus grande dimension, est au plus de deux chevaux, y compris toutes les résistances de cordage et de mécanisme; mais si l'on fait usage d'une machine particulière, il faut toujours la calculer plus forte d'un quart à un cinquième environ.

Pour enrouler les cordes on se sert de treuils ou tambours en bois, placés horizontalement ou verticalement. La première disposition est préférable toutes les fois que l'espace le permet, parce que les cordes sont moins sujettes à se déranger et à se croiser. Les Pl. 18 et 21 donnent un exemple de chacune de ces dispositions, avec tous les détails de construction nécessaires, et l'on trouvera dans leurs descriptions l'explication des moyens employés pour donner aux treuils un mouvement alternatif à volonté, de même que pour faire arrêter les chars en temps utile sans le secours d'aucun ouvrier.

Lorsque les matières arrivent par bateaux et qu'elles doivent être immédiatement déchargées dans les chars, quelles que soient les variations du niveau des eaux, il ne suffit pas que le plan incliné descende jusqu'à l'eau, et il faut, ou que son extrémité soit mobile à charnière en flottant sur un ponton, ou faire usage d'une culée mobile, roulant sur le plan incliné, comme l'indique la Pl. 19.

La Pl. 20 offre les détails de la construction de cette culée mobile, ainsi que ceux relatifs aux voies et crémaillères du plan incliné, et à l'arrêt des chars.

PORTE-VENTS ET TUYÈRES.

On nomme *porte-vents* ou *boîtes à vent*, des tuyaux accompagnés d'une boîte dans laquelle est un appareil mobile pour laisser échapper le vent ou l'intercepter à volonté, et qui se placent vis-à-vis des ouvertures de tuyères, comme l'indiquent les lettres P, P, Pl. 10, *fig.* 3, 4, 5, 7 et 8.

A ces porte-vents s'adapte un tuyau en fonte ou en cuir, à l'extrémité duquel est placé un ajutage conique en tôle, que l'on nomme *buse*. Cette buse entre dans l'orifice de tuyère et porte le vent dans le fourneau.

On fait usage de diverses espèces de porte-vents :

1°. Les porte-vents à robinet, Pl. 22, *fig.* 1 à 9, dont la boîte est cylindrique et renferme une clé de robinet creuse et munie d'une ouverture latérale pour donner issue au vent;

2°. Les porte-vents à clapet, *fig.* 10 à 13, dont la boîte est carrée ou rectangulaire, et contient un clapet à charnière qui ouvre ou ferme l'orifice de sortie;

3°. Les porte-vents à vanne, *fig.* 15 à 20, dont la boîte contient une vanne verticale qui se manœuvre soit par engrenage, soit quelquefois par une tige verticale traversant le couvercle de la boîte;

4°. Les porte-vents à soupape, *fig.* 21 et 22, dans lesquels une soupape munie d'une longue tige verticale et rodée sur son siége, permet d'arrêter ou de donner le vent à volonté;

5°. Les porte-vents à tiroir, *fig.* 31 à 35, qui ne sont autre chose que des boîtes à vent à vannes horizontales.

Ces derniers, ainsi que les porte-vents à vanne, mais construits sur de plus grandes dimensions, se placent quelquefois sur la conduite principale du vent, vis-à-vis chaque fourneau, comme on le voit en H, Pl. 10, *fig.* 8, afin de pouvoir donner ou intercepter à la fois le vent à toutes les tuyères d'un fourneau. Cette disposition a l'avantage de rendre la distribution du vent indépendante pour chaque fourneau, et de la régler convenablement pour chacun, sans qu'il soit nécessaire de changer la marche des machines soufflantes ou de changer la grandeur des issues des porte-vents de tuyères.

On voit, dans tous les cas, que toutes les espèces de porte-vents, à l'exception toutefois de ceux à clapet, permettent de régler, pour chaque tuyère, la quantité de vent qu'on veut lui donner. Du reste, la quantité de vent est toujours mieux réglée par le diamètre de l'orifice des buses.

Lorsqu'on fait usage de vent chaud pour alimenter les hauts-fourneaux, on ne peut se servir de garnitures en cuir pour les porte-vents, et de plus, ils doivent être disposés de manière que le vent puisse toujours s'échapper de la boîte, lorsqu'on l'intercepte aux tuyères. Telle est la disposition du porte-vent à clapet représenté par les *fig.* 10 et 11. Sans cette précaution, l'air se trouvant arrêté dans les appareils employés à le chauffer, ceux-ci pourraient acquérir une trop haute température, et entrer en fusion dans les parties rapprochées du foyer.

On verra, dans la section relative aux machines soufflantes, comment on détermine le diamètre de sortie d'air, pour les porte-vents et les buses, relativement au volume d'air à fournir et à sa pression.

Tuyères. Les tuyères sont des espèces de tuyaux de forme pyramidale ou conique, dont on garnit les orifices de tuyères, et dans lesquels on engage le bout des buses. On fait usage de tuyères pour garantir leurs logemens d'une trop prompte destruction, pour diriger le vent convenablement et pour pouvoir le porter assez avant dans le creuset lorsque les parois en sont fortement rongées.

Les tuyères se font en tôle forte ou en fonte, et quelquefois, mais assez rarement, en cuivre rouge.

On distingue dans les tuyères, le *plat,* ou la partie sur laquelle elles reposent; le *pavillon,* qui est leur plus grande ouverture; le *museau,* ou le petit bout engagé dans le fourneau; et l'*œil,* qui est l'orifice pratiqué dans le museau. Le diamètre de l'œil est la seule dimension des tuyères importante à régler; elle dépend du diamètre de la buse, et son rapport avec cette dernière sera déterminé ultérieurement. (*Voy.* Machines soufflantes.)

Lorsqu'on fait des tuyères simples en fonte, le plat peut être coulé à part, comme on le voit *fig.* 23 à 26, Pl. 22; cela facilite dans certains cas les moyens de les placer et de les retirer.

Les tuyères simples se détruisant très promptement dans les fourneaux à coke, on se sert ordinairement pour ces fourneaux de tuyères à double enveloppe, en fonte ou en tôle, que l'on désigne sous le nom de *tuyères à eau.* Ces tuyères, représentées par les *fig.* 27 à 30, admettent de l'eau froide dans leur double enveloppe par un tuyau *t,* et cette eau, après s'être échauffée, sort par un autre tuyau *t'*. Ce courant rafraîchit sans cesse la tuyère et l'empêche de brûler.

La distribution d'eau aux tuyères, Pl. 14, *fig.* 5, 6 et 7, se fait au moyen de tuyaux MN, placés autour des fourneaux, dans l'endroit où ils peuvent le moins gêner; des embranchemens O, O, munis de robinets, portent l'eau dans de petites bâches *q, q,* placées dans les embrasures, et de là elle se distribue à chaque tuyère.

La quantité d'eau nécessaire pour bien rafraîchir une tuyère à eau est de 9 à 10 litres par minute, et l'on doit au surplus la régler de manière que l'eau ne sorte pas à une température de plus de 12 à 15 degrés.

USTENSILES DE HAUTS-FOURNEAUX.

Les ustensiles nécessaires pour le service des chargeurs au gueulard de chaque fourneau, sont :

Une balance ou bascule pour peser les charges.

Huit à dix conches ou espèces de vans en tôle ou en cuivre, Pl. 22, *fig.* 36 et 37, pour charger les minerais et les fondans. Leur capacité est ordinairement réglée pour contenir 25 ou 30 kilogrammes de matières.

Une ou deux demi-conches.

Une grande pelle de chargeur à manche en fer, ou bien un fourgon, pour égaliser les charges dans le gueulard.

Une pelle ordinaire pour charger les conches.

Une pelle à grille ou à claire-voie, pour prendre le coke en en séparant le poussier.

Des paniers ou rasses pour charger le combustible, ou bien une grande brouette à deux roues que l'on vient vider dans le gueulard.

Une planchette à cheville pour marquer le nombre de charges de chaque coulée; et une petite cloche pour annoncer aux fondeurs le moment où l'on charge.

Les ustensiles nécessaires aux fondeurs et aides-fondeurs, sont :

Une bâche à eau pour rafraîchir les outils.

Un tonneau enterré dans lequel on entretient de l'eau pour le service du fourneau et de la fonderie. Ce tonneau est ordinairement alimenté par l'eau chaude de l'une des tuyères à eau.

Deux perçoirs ou lâche-fonte, *fig.* 38 et 39, en fer carré de 4 centimètres, à pointe aciérée, et d'environ 1^{m}60 de longueur, pour ouvrir le trou de coulée.

Un support de coulée, ou pièce en fer qui se loge d'un bout dans la plaque de gentilhomme, et qui sert d'appui au perçoir.

Une plaque de tôle pour fermer l'avant-creuset pendant la coulée.

Dix à douze grands ringards, *fig.* 40, en fer de 4 centimètres, à pointes aciérées, pour travailler dans le creuset. Quatre de ces ringards doivent avoir 9 à 10 pieds de longueur, et les autres 7 à 8 pieds.

Trois ou quatre ringards à biseau, *fig.* 41 et 42, pour nettoyer les parois du creuset.

Deux crochets à poignée pour tirer les laitiers hors de la fonderie, en fer rond de 7 à 8 lignes sur 5 pieds de longueur.

Deux ou trois ringards à crochet plat, *fig.* 43, pour garnir les tuyères et le dessous de la tympe. Ils sont en fer rond de 9 lignes, et ont 6 pieds de longueur; le crochet a de 15 à 18 lignes de largeur, sur 2 pouces et demi de longueur.

Deux ou trois curettes de tuyères, à poignée, en fer rond de 9 lignes sur 7 pieds de longueur, la pointe aciérée et un peu recourbée.

Une râclette ou rateau, *fig.* 44, pour nettoyer le creuset.

Une hampe à tampon, *fig.* 45, en fer rond de 9 lignes sur 10 pieds de longueur, pour présenter devant le trou de coulée, lorsqu'on lâche la fonte.

Deux masses de 10 à 12 kilogrammes, *fig.* 46 et 47, et un marteau à main pour enfoncer au besoin les ringards et le perçoir.

Trois grandes pelles à long manche, pour nettoyer le creuset.

Une pelle ordinaire, et une bêche pour travailler le sable destiné à recevoir la fonte.

Un seau; une charrue en bois, *fig.* 48 et 49, pour préparer les rigoles ou chenées dans le sable; une dame ou battoir, *fig.* 50 et 51, pour les aplanir; des moules de gueusets ou saumons, lorsqu'on veut couler la fonte sous cette forme.

Enfin une cloche pour annoncer aux chargeurs le moment de la coulée.

SECTION VI.

SÉCHAGE, CHAUFFAGE, MODE DE CHARGEMENT ET MISE A FEU DES HAUTS-FOURNEAUX.

SÉCHAGE.

Les constructions extérieures et intérieures des hauts-fourneaux étant terminées, on les laisse essorer ou se ressuyer à l'air jusqu'à ce que le mortier ait commencé à prendre une certaine consistance, et alors on commence le séchage au feu, si l'on veut arriver plus promptement à se servir des fourneaux.

On commence par le séchage des maçonneries extérieures, et l'on peut y procéder quinze à vingt jours après leur achèvement. A cet effet, on construit devant l'embouchure de chacune des cheminées H, H, Pl. 14, réservées dans les angles des massifs, un petit fourneau en briques, dont la grille a environ 35 à 40 centimètres de côté, et l'on y allume un feu très modéré d'abord, que l'on gradue successivement pendant huit à dix jours, avant de lui donner toute l'intensité qu'il peut avoir. Ce séchage dure plus

ou moins long-temps, selon la saison, mais toujours au moins pendant un mois à six semaines.

Le séchage des constructions intérieures se fait par des moyens analogues. On construit dans l'avant-creuset une grille avec des briques ordinaires et des barreaux de 50 à 60 centimètres de longueur, en fermant le derrière du cendrier. Les côtés de la grille au-dessus des barreaux sont faits en briques réfractaires, afin de pouvoir résister au feu, et pour préserver les costières d'avant-creuset de l'action trop immédiate de la chaleur, qui les ferait éclater. Le dessous de la tympe est garni de la même manière, et par les mêmes motifs. Lorsque le creuset et l'ouvrage sont construits en grés, il faut de plus avoir soin de garnir toute leur surface d'un placage en briques, afin que ces pierres ne s'égrènent ou ne s'éclatent pas.

On bouche les tuyères avec de la terre ou du sable gras, on couvre le gueulard de quelques planches, et l'on commence à faire le feu.

On le conduit d'abord très modérément, en ayant soin de le couvrir de temps en temps de cendres ou de sable, pour que la chaleur ne se fasse pas brusquement sentir aux maçonneries encore toutes fraiches. On gradue le feu, et on ne le pousse vivement qu'après huit à dix jours.

Ordinairement, après vingt ou vingt-cinq jours de séchage, la chaleur a pénétré les masses, ce que l'on reconnait en appliquant la main sur le pourtour des tuyères. Lorsqu'elles sont assez chaudes, et qu'on ne sent plus d'humidité sur la surface de la maçonnerie, on arrête le séchage intérieur, et on peut commencer le chauffage.

Il est bon de continuer le séchage extérieur, parce que la masse à sécher est beaucoup plus considérable.

CHAUFFAGE.

Le chauffage est l'opération par laquelle on achève la dessiccation d'un haut-fourneau, et on élève sa température pour le préparer à recevoir les matières à fondre. On peut y procéder en introduisant du combustible dans la capacité intérieure, ou en faisant usage d'un four à réverbère construit en avant du creuset.

Chauffage dans le fourneau. Après avoir découvert le gueulard, enlevé la grille de l'avant-creuset et les placages intérieurs, on place sur la sole quelques fagots de bois sec, et l'on jette par le gueulard assez de combustible, charbon ou coke, pour remplir le fourneau jusqu'aux étalages. On

allume et on laisse l'ignition se propager librement. Le feu ayant atteint la couche supérieure de combustible, on charge de nouveau de manière à atteindre à peu près le tiers de la hauteur des étalages; alors on bouche les tuyères, si elles ne le sont déjà, et l'on ferme le devant du creuset par un briquetage dont les joints se font en sable humecté, en réservant un petit caniveau dans le bas pour donner de l'air au besoin. Toute cette construction est recouverte de sable légèrement battu, afin de mieux intercepter l'air.

Il faut éviter l'incinération des couches supérieures de combustible, et, dès qu'elles sont embrasées, on les couvre de nouveau combustible formant chaque fois une couche de 50 à 60 centimètres d'épaisseur au moins, jusqu'à ce qu'on soit parvenu à la base de la cuve.

A partir de ce point, il faut s'élever d'autant plus lentement que les maçonneries sont plus fraîches, afin de ne pas les exposer à se fendre, soit par la dilatation, soit par la pression des vapeurs qui se dégagent.

Si le double muraillement est anciennement construit, qu'il ait déjà supporté un ou plusieurs fondages, il suffit de charger en combustible jusqu'à moitié environ de la hauteur du fourneau, en se maintenant à ce point; mais dans le cas d'une construction neuve, il faut charger successivement jusqu'au gueulard, en se maintenant à cette hauteur jusqu'au moment où l'on doit cesser le chauffage.

Dans un fourneau à coke, neuf et de grandes dimensions, le chauffage dure souvent cinq à six semaines. On est averti qu'on peut le cesser, dès que l'on ne voit plus sortir de vapeur des massifs extérieurs.

Afin que le creuset ne s'encombre pas de cendres, et puisse s'échauffer fortement, on le débouche toutes les quarante-huit heures pendant les quinze à vingt premiers jours de chauffage, et de vingt-quatre en vingt-quatre heures pendant le reste, pour le nettoyer parfaitement. A cet effet, on passe un ringard pointu *t* au travers des tuyères latérales, Pl. 15, *fig.* 1 et 2, et l'on suspend un support à crochets *n n* aux montans *m, m* du creuset; sur ces deux appuis on place d'autres ringards *r s* enfoncés jusqu'à la rustine, et l'on forme ainsi une grille pour soutenir le combustible supérieur, pendant qu'on vide et qu'on nettoie le creuset; c'est ce que l'on appelle *faire une grille.*

Après quoi, on défait la grille pour laisser descendre le combustible, et on rebouche le creuset comme auparavant. Si l'on s'aperçoit que la rustine ne soit pas suffisamment chauffée, on établit tout le long du milieu de la sole

un conduit en briques, communiquant avec le caniveau réservé dans le briquetage de fermeture, et par ce moyen on excite la combustion dans la partie le moins chauffée.

Lorsqu'on juge le chauffage suffisant, on laisse descendre les charges jusqu'à moitié du fourneau, et l'on commence la mise à feu, ainsi qu'on le dira plus loin.

Chauffage au réverbère. Le chauffage et même le séchage peuvent s'opérer au moyen d'un petit four à réverbère, *fig.* 18 et 19, Pl. 15, construit en avant du creuset, et auquel le fourneau sert de cheminée en bouchant les tuyères, et couvrant le gueulard avec quelques plaques de tôle. On peut aussi, et on doit le faire de préférence, couvrir ainsi le dessus de la cheminée, en bouchant les portes de chargement.

Il faut avoir soin de garnir de briques réfractaires le dessous de la tympe et les côtés de l'avant-creuset; alors on charge la grille, et l'on allume, en dirigeant le feu comme on l'a précédemment indiqué. On parvient ainsi, non seulement à sécher le fourneau, mais encore à chauffer au rouge toutes ses parties inférieures.

Dans un fourneau réparé, un chauffage de quatre à dix jours suffit ordinairement; mais pour un fourneau neuf, il faut souvent le prolonger pendant un mois à six semaines. Dans les premiers jours, on brûle 5 à 6 hectolitres de houille par vingt-quatre heures, et l'on augmente graduellement, jusqu'à brûler environ 1 hectolitre par heure dans la dernière période du chauffage.

Ce moyen est moins embarrassant et moins sujet à inconvénient que le chauffage dans le fourneau, mais dans l'un et l'autre mode, la dépense de combustible est très considérable.

Pour chauffer un grand fourneau à coke, comme ceux de l'usine de Lavoulte, et neuf, il ne faut pas moins de 30 à 35 mille kilogrammes de coke; et pour le chauffer au réverbère, on emploierait environ 500 hectolitres de houille, soit 40,000 kilogrammes, non compris le coke nécessaire pour la mise à feu.

Lorsque le chauffage au réverbère est suffisamment avancé, on emplit le fourneau de coke ou de charbon jusqu'à moitié, on démonte le réverbère, et l'on prépare la mise à feu.

MODE DE CHARGEMENT.

Avant de mettre à feu, il faut déterminer le mode de chargement du

fourneau, c'est-à-dire s'occuper du volume à donner aux charges, du dosage approximatif des fondans, et de la manière de charger.

Charges en combustible. La quantité de combustible qui doit entrer dans chaque charge d'un haut-fourneau, se règle d'après la capacité de la cuve et la nature des minerais, et, une fois fixée, elle est invariable pendant toute la durée du fondage.

La charge en combustible doit être d'autant plus forte que les minerais sont moins fusibles, afin que dans chaque tranche horizontale il y ait développement de chaleur convenable, pour la réduction d'abord, puis ensuite pour la carburation et la liquéfaction. Elle doit être d'autant plus forte, que le fourneau est plus large au ventre, afin qu'elle y conserve une épaisseur telle, que les minerais ne puissent la traverser et s'ébouler ensuite dans l'ouvrage.

Dans les fourneaux *au charbon de bois* de 7 à 8 mètres d'élévation, avec des minerais fusibles, une charge de 3 à 3 ½ hectolitres paraît suffisante; si les minerais sont réfractaires, on la porte de 4 à 5 hectolitres.

Fourneaux de 9 à 10 mètres de hauteur, minerais très fusibles, charbon 6 à 7 hectolitres; minerais moyennement fusibles, charbon 8 à 9 hectolitres; minerais réfractaires, charbon 10 à 12 hectolitres.

Fourneaux de 12 mètres d'élévation, minerais moyennement fusibles, charbon 15 à 16 hectolitres; minerais réfractaires, charbon 20 à 22 hectolitres.

Ces indications générales peuvent et doivent même varier dans chaque cas particulier, d'après l'expérience acquise. Les variations peuvent même être assez grandes, sans qu'il en résulte de dérangement dans la marche du fourneau, et de différences sensibles dans la consommation relative de combustible.

Pour les fourneaux *au coke,* le combustible brûlant moins facilement, et diminuant moins de volume avant d'arriver au ventre, les charges sont proportionnellement moindres.

Dans les fourneaux de 12 mètres d'élévation, on charge de 5 à 7 hectolitres de coke, selon la nature des minerais; dans ceux de 14 à 15 mètres de hauteur, 7 à 9 hectolitres; et dans ceux de 15 à 16 mètres de hauteur, 10 à 12 hectolitres.

Il faut éviter autant que possible les mélanges ou les charges alternatives de charbons durs et tendres, parce que cela fait varier la marche des fourneaux; les charbons trop gros, dont les interstices laissent tamiser les mine-

rais; et les charbons trop menus ou friables, qui empêchent le passage du vent et occasionnent des engorgemens.

Le coke doit être cassé à la grosseur du poing à peu près, et l'on doit en retirer le fraisil ainsi que la menuaille, désignée sous le nom de *grésillons*.

Charges en minerais. Les charges en minerais varient pour ainsi dire constamment, selon la nature de ces minerais, et selon que le combustible peut en *porter*, c'est-à-dire en fondre, une plus ou moins grande quantité. On augmente successivement les charges depuis la mise à feu jusqu'au plein roulement, et l'expérience journalière indique la nécessité ou la possibilité des accroissemens ou des diminutions, ainsi que le *maximum* que l'on peut atteindre.

On peut accroître les charges tant que le fourneau marche bien dans la qualité des produits qu'on veut obtenir; il faut les diminuer lorsque les produits s'altèrent ou que le fourneau est embarrassé, à moins qu'on ne puisse rétablir une bonne marche par le secours des fondans.

Les charges doivent en général être moindres avec des minerais réfractaires, mouillés, mal ou sur-grillés et terreux, qu'avec des minerais fusibles, secs et bien préparés; elles doivent être moindres pour la production de fonte grise que pour celle de fonte blanche. C'est à l'expérience à indiquer dans chaque cas les limites où il faut s'arrêter.

Il est surtout dangereux de charger un minerai réfractaire en trop fortes doses, lorsque les fourneaux ont un ouvrage étroit et une grande hauteur, parce qu'il peut en résulter de forts engorgemens.

Dosage des fondans. On a vu dans la première section (*Essai des Fondans*), comment on pouvait déterminer la nature des fondans convenable pour chaque minerai, et fixer les proportions strictement nécessaires pour obtenir en petit le plus de fonte possible et de bons laitiers. Ces premières données sont utiles, mais doivent être ensuite modifiées quant aux proportions, selon la nature de fonte que l'on veut obtenir, conformément aux résultats d'expérience réunis dans la deuxième section, pages 64 et suivantes. Ces proportions ne sont pas employées de prime abord, et ne s'établissent que lorsqu'on est parvenu en plein roulement. On les modifie selon les variations que présentent les minerais, selon l'apparence des laitiers, et dans toutes les circonstances où le fourneau est engorgé ou risque de l'être, ainsi qu'on le verra dans la section suivante; mais, dans tous les cas, les changemens de dosage ne doivent être que temporaires, et l'on doit, dès qu'on le peut, revenir aux proportions reconnues comme satisfaisantes.

Les fondans doivent être en général concassés grossièrement; mais lorsqu'on emploie des minerais arénacés ou des minerais ocreux et friables, les fondans doivent être presque pulvérisés, afin de former un mélange plus intime.

Mode de chargement. Quelle que soit la méthode de chargement que l'on adopte, il faut la suivre avec régularité, pour que le travail du fourneau soit plus uniforme et plus facile; mais cette méthode n'est pas indifférente en elle-même, et elle influe puissamment sur la marche du fourneau.

Les charges trop ou trop peu volumineuses, tant en combustible qu'en minerais et fondans, sont également nuisibles; les premières refroidissent le fourneau, les dernières occasionnent des brouillages, des descentes inégales et des engorgemens. L'expérience apprend que les plus petites charges, qui satisfont d'ailleurs aux conditions précédemment énoncées, sont celles qui donnent les meilleurs résultats.

Dans la plupart des fourneaux au charbon de bois, on s'écarte beaucoup de ce principe, et les ouvriers laissent souvent descendre les matières de 5 à 6 pieds au-dessous du gueulard, avant de faire une nouvelle charge. Cette méthode est d'autant plus vicieuse que les fourneaux sont plus petits : la masse de matières introduite tout d'un coup refroidit le fourneau; il reste moins d'espace à parcourir au minerai pour se désoxider et se carburer; le poids des matières chargées et leur chute d'une certaine hauteur, compriment les couches inférieures et nuisent au passage du vent; si les charbons et minerais sont trop humides, ils dérangent le fourneau en s'agglomérant.

En procédant au contraire par plus petites charges, et ne les laissant descendre que de 3 pieds au plus, la température de la cuve serait moins variable; les charbons et minerais auraient le temps de se sécher; les couches étant plus minces, la désoxidation se ferait plus complétement et plus également, on éviterait beaucoup d'obstructions, on passerait plus de charges, et l'on aurait plus de produits dans un même temps. Ce mode de chargement existe en Sibérie, et il n'est pas rare d'y trouver des fourneaux de 10 à 12 mètres de hauteur, qui, dirigés ainsi, produisent jusqu'à dix tonnes de fonte par vingt-quatre heures.

Le seul cas où il soit nécessaire d'employer de fortes charges, est celui où l'on traite des minerais ocreux et friables, ou des minerais arénacés, afin de les empêcher de traverser le combustible. Il faut alors employer de gros charbons pour prévenir la compression des matières.

Dans les fourneaux à coke, le volume total des charges est toujours très petit comparativement à celui de la cuve, et on ne laisse pas descendre les matières à plus de 50 ou 60 centimètres au-dessous du gueulard, sans introduire une nouvelle charge.

L'ordre de chargement des matières n'est pas non plus indifférent.

Dans les fourneaux au charbon de bois, il faut charger le combustible le premier, et le recouvrir de minerai,

1°. Parce qu'à l'air libre, le charbon s'incinérerait à la surface;

2°. Parce que la charge occupant beaucoup de hauteur, selon le mode généralement suivi, il faut éloigner le minerai du ventre, pour que le refroidissement qu'il occasionne soit moins sensible;

3°. Pour donner au minerai le temps de perdre son eau, et pour qu'il soit plus long-temps exposé à l'action désoxidante des gaz qui le traversent.

Dans les fourneaux au coke, les charges descendant peu, le combustible brûlant et s'incinérant difficilement, et les minerais se trouvant toujours en couches minces, l'ordre dans lequel on charge n'a pas d'influence bien sensible.

On charge toujours le coke le dernier, néanmoins, lorsque les minerais et fondans sont assez légers pour être enlevés en partie par la force du vent, ou lorsqu'ils décrépitent au contact de la chaleur, et lancent des éclats qui peuvent blesser les ouvriers.

On doit charger le combustible au volume, afin que sa quantité réelle soit moins variable, quel que soit le poids qu'il prenne par l'effet de l'humidité; on doit au contraire charger les minerais et fondans au poids, afin que, malgré les variations de nature et de densité, la quantité de matière à fondre, pour un volume de charbon déterminé, reste à peu près la même. Par ces moyens on imprime aux fourneaux une marche plus régulière.

La comparaison des consommations et produits se faisant ordinairement en poids, on prend de temps à autre le poids moyen des mesures de charbon pour établir les résultats du roulement.

MISE A FEU.

Mettre un fourneau à feu, c'est commencer le travail du fondage, en chargeant des minerais et des fondans.

Il faut avant de faire cette opération, et pendant le chauffage, s'occuper à réunir et à disposer tous les objets nécessaires; et si l'on a des laitiers d'un

précédent fondage, choisir et ramasser une assez grande quantité de ceux qui sont le plus purs et le plus vitreux.

On a déjà indiqué (section V) quels sont les ustensiles et outils nécessaires; à ces objets, il faut ajouter la plaque de dame, la plaque de gentilhomme, la plaque de tympe, la dame, des tuyères et des buses.

La dame doit être chauffée préalablement, et on la place dans le combustible embrasé fourni par les grilles que l'on fait pour la mise à feu. Quant aux tuyères, il faut préférer celles à eau, parce que, n'entrant pas en fusion, elles conservent les parois du creuset par l'agglomération des matières qui s'attachent à leur museau.

Tout étant préparé, les machines soufflantes prêtes à agir, et le fourneau étant à peu près à moitié plein de combustible, on commence à charger en minerais et fondans, de manière à achever de remplir le fourneau dans l'espace de deux ou trois jours au plus, et en suivant la progression suivante :

Première période. — Minerais, $\frac{1}{6}$ à peu près du poids de la charge en combustible; fondans, $\frac{1}{5}$ environ du poids des minerais.

Deuxième période. — Minerais, $\frac{1}{5}$ du combustible; fondans, $\frac{1}{5}$ du minerai.

Troisième période. — Minerais, $\frac{1}{4}$ du combustible; fondans, $\frac{1}{4}$ du minerai.

Quatrième période. — Minerais, $\frac{1}{3}$; fondans, $\frac{1}{3}$.

Cinquième période. — Minerais, $\frac{1}{2}$; fondans, $\frac{1}{3}$.

Sixième période. — Minerais, $\frac{2}{3}$; fondans, $\frac{1}{3}$.

Jusqu'au moment où le fourneau est plein, les accroissemens se font de douze en douze heures à peu près, et dans cet espace de temps, on fait de douze à vingt charges en trois ou quatre reprises également espacées, c'est-à-dire de trois en trois ou de quatre en quatre heures. On ne doit pas dépasser les proportions indiquées pour la seconde période. Lorsque le fourneau est rempli, on charge à mesure d'affaissement, et l'on ne change les proportions que lorsqu'on s'est assuré que les accroissemens précédens ne produisent aucun embarras dans le fourneau; en sorte qu'il s'écoule quelquefois trois semaines ou un mois avant que l'on ait atteint la dernière période.

La gradation indiquée n'a rien d'absolu; elle peut varier un peu selon la nature des minerais, et doit être moins prompte pour des minerais réfractaires que pour des minerais fusibles.

Dans les deux premières périodes, il est avantageux de remplacer le tiers ou le quart des fondans par du laitier pur; la fusion s'opère mieux, et le fourneau est moins sujet à se déranger. On suppr me laitier graduellement en passant à la troisième période.

A partir du moment où l'on charge en minerai, on fait deux à trois grilles par vingt-quatre heures, et l'on a soin de bien nettoyer le creuset chaque fois. On maintient la grille pendant une heure environ, afin d'activer la combustion, et de bien échauffer les parties supérieures du fourneau.

Dès que le minerai arrive dans le creuset (1), on nettoie parfaitement la sole et les parois, et on couvre la sole d'une couche de 3 à 4 pouces de poussier de charbon de bois, afin d'empêcher la fonte d'y adhérer et de la dégrader. S'il s'agit d'un fourneau à coke, on ajoute de plus une couche de charbon de bois de 8 à 9 pouces d'épaisseur, afin de bien réchauffer le creuset, et de livrer un passage plus facile à la première fonte.

Alors on place les tuyères, la dame, la plaque de gentilhomme et la garniture de tympe. On *hale* le combustible, c'est-à-dire qu'on le tire dans l'avant-creuset pour le remplir; on garnit le dessous de la tympe en terre grasse bien battue, et on en couvre l'avant-creuset, en jetant d'abord quelques pellées de fraisil sur le combustible.

On donne alors le vent à demi-pression au plus, afin de moins dégrader les parois du creuset et de l'ouvrage, et parce que les matières à foudre sont encore peu abondantes; puis on bouche le trou de coulée.

Il faut avoir soin de découvrir l'avant-creuset et de travailler le creuset, de deux en deux ou de trois en trois heures, pour en tirer les matières pâteuses qu'il contient, sans arrêter le vent, ou en ne l'arrêtant que le moins possible, et de dégager souvent les tuyères.

Dès que, par les tuyères, on voit le laitier couler assez abondamment dans le creuset, on hale les charbons, pour que ce laitier puisse descendre jusqu'à la sole, et on rebouche l'avant-creuset le plus promptement possible. On répète cette opération toutes les fois que le laitier vient flotter dans les tuyères, jusqu'à ce que le creuset en soit plein, et alors on lui donne écoulement par le *trou de chio*, ou échancrure pratiquée à la partie supérieure de la dame.

Après douze ou quinze heures de travail soutenu, et quelquefois après vingt-quatre heures seulement, pour peu que les laitiers ne se maintiennent pas bien liquides et que les tuyères s'obscurcissent, le creuset contient

(1) Pour reconnaître plus facilement sa présence, on jette quelquefois une brique réfractaire dans le fourneau, avant la première charge; et dès qu'elle se présente dans le creuset, on est certain que le minerai ne tardera pas à y descendre.

assez de fonte, et l'on fait la coulée, comme on l'expliquera plus loin. (*Voy.* section VII.)

A mesure que le minerai descend, on accroît un peu le vent en augmentant sa pression, et l'on ne donne tout le vent et toute la pression que lorsqu'on a atteint la sixième période. On rapproche en même temps les époques de coulées, et on les régularise soit de huit en huit, soit de douze en douze heures, selon que le permet la capacité du creuset.

On doit travailler souvent le creuset, comme il a été dit précédemment, jusqu'à ce que la marche du fourneau soit bien établie.

Une fois que l'on est parvenu à la sixième période, le fourneau peut être considéré comme en bon roulement; alors on accroît encore les charges jusqu'au *maximum* que peut porter le charbon, pour la qualité de fonte à produire, et on règle les proportions définitives des fondans.

Il faut éviter avec soin, pendant les premières périodes, de donner un vent trop fort, c'est-à-dire sous trop forte pression, parce que les costières seraient bientôt considérablement endommagées. On ne peut entièrement empêcher cet effet; mais lorsqu'en sondant par les tuyères, on s'aperçoit que les dégradations vont en croissant, on y remédie en jetant par le gueulard et au-dessus des tuyères, quelques pellées de pierre calcaire aussi pure que possible. Ce calcaire descend le long des parois, arrive en fusion pâteuse autour des tuyères, et y forme un enduit presqu'infusible qui remplace pour assez long-temps la partie des parois entrée en fusion.

SECTION VII.

TRAVAIL DES HAUTS-FOURNEAUX.

Le travail des hauts-fourneaux, quelque simple qu'il paraisse, présente néanmoins assez de difficultés, parce qu'il exige que la température soit maintenue à un degré convenable et assez peu variable, pour chaque sorte de minerai et pour chaque espèce de fonte à obtenir.

Abstraction faite des causes accidentelles de dérangement, que l'on fera connaître plus loin, les difficultés de conserver à un haut-fourneau une

marche ou, comme on dit, une *allure* régulière, augmentent à mesure que les minerais sont plus réfractaires et les combustibles plus compactes, surtout lorsqu'on fait usage de coke.

On peut obtenir une *allure régulière*, soit qu'on marche en fonte grise, soit qu'on marche en fonte blanche ou truitée, et, dans cet état, un fourneau doit présenter les signes suivans :

1°. Les tuyères doivent être parfaitement libres, claires et tellement brillantes qu'on ne puisse distinguer, au premier abord, les matières qui sont contenues dans le foyer. On juge par là que la température du fourneau est suffisamment élevée, que la fusion s'opère bien et que le vent traverse la cuve sans difficulté.

Il peut arriver néanmoins que les tuyères se salissent et qu'il s'y forme un *nez*, c'est-à-dire qu'il s'y attache des matières durcies. C'est un signe certain que les minerais sont difficiles à fondre. Il faut alors composer un mélange plus fusible, et nettoyer fréquemment les tuyères jusqu'à ce qu'elles cessent d'être obstruées.

2°. Les laitiers doivent être assez abondans, couler avec facilité, avoir la consistance du verre en fusion, se solidifier lentement, et présenter, dans leur cassure, après le refroidissement, une masse vitreuse ou une couche vitreuse enveloppant un noyau opaque et légèrement lithoïde.

Cependant avec certains minerais, tels que les minerais en grains ou arénacés et les minerais spathiques, on obtient quelquefois de bons laitiers qui ne présentent pas ce caractère, et dont la cassure, ni vitreuse, ni lithoïde, est semblable à celle de la porcelaine. Ces laitiers, dont la couleur varie du blanc au blanc grisâtre ou au jaune clair, ont reçu le nom de laitiers *porcelanisés*, et proviennent soit de ce que la silice n'y entre pas en quantité suffisante, soit de ce que, par défaut de chaleur, la vitrification est imparfaite.

Les laitiers doivent être de couleurs claires; lorsqu'ils deviennent noirs, ils sont toujours l'indice d'une mauvaise réduction, et, dans ce cas, ils sont chargés d'oxide de fer et deviennent lourds. Les couleurs qu'ils offrent le plus fréquemment sont le bleu, le vert, le jaune, le gris et le brun. Toutes ces couleurs peuvent être mélangées et dépendent des diverses natures de minerais et fondans employés.

Un bon laitier est l'indice le plus certain d'une température convenable et d'une complète réduction.

3°. La garniture de tympe étant bien faite, elle ne doit pas laisser

échapper de flamme ou seulement de petites flammes légères, sortant avec peu de vitesse; et lorsqu'après une coulée, on échauffe l'avant-creuset en donnant le vent, on ne doit apercevoir aucune trace de fumée. On reconnait ainsi que le vent s'élève avec facilité au travers des matières et n'exerce qu'une faible pression sur l'avant-creuset.

4°. La flamme du gueulard doit être vive, terminée en dard, couleur flamme de punch, sans fumée, mais accompagnée seulement d'une vapeur blanchâtre.

5°. La descente des charges doit être uniforme, ou s'opérer dans des temps à peu près égaux; elle doit être régulière, c'est-à-dire que les couches supérieures doivent s'affaisser également et ne pas prendre une position oblique.

Les principales causes de dérangement des hauts-fourneaux, sont : la négligence des ouvriers; un vent trop faible ou trop fort, ou un vent irrégulier; les variations dans la nature ou dans le mélange des minerais et fondans; une surcharge de minerais; des minerais ou charbons trop imprégnés d'humidité; la compression des matières, la mauvaise qualité des combustibles; les dégradations et l'élargissement du fourneau.

Tous les dérangemens produits par ces différentes causes changent l'allure régulière en *allure froide* par défaut de chaleur, en *allure chaude* par excès de température, ou en *allure sèche,* par excès de température et défaut de laitiers.

Allure froide. Elle est le résultat d'un vent trop faible, de surcharges, d'une compression, de l'emploi d'une trop grande quantité de minerais réfractaires ou de matières humides, et elle se présente surtout lorsque, vers la fin de la campagne, le foyer se trouve trop élargi et dégradé.

Cette allure s'annonce toujours par l'obscurcissement et par l'obstruction des tuyères, par une coloration plus foncée des laitiers, et, dans le cas de compression, par la faiblesse et la fuliginosité de la flamme du gueulard, ainsi que par le plus ou moins de vivacité que prennent les petites flammes de la tympe. Dans ce cas, lorsqu'on flambe l'avant-creuset après une coulée, il en sort toujours un peu de fumée.

Lorsque le refroidissement commence, et quelque temps avant que le fourneau soit dérangé, le laitier, quoique peu coloré, perd en partie son éclat vitreux, sans devenir entièrement lithoïde; il prend un aspect terreux, semble être à demi fondu, et devient très caverneux ou boursouflé.

Il suffit, pour arrêter ces effets, d'activer les machines soufflantes, sans rien changer d'ailleurs au travail.

Si les tuyères deviennent obscures, et que les laitiers s'épaississent, le refroidissement est général, c'est-à-dire qu'il existe dans toutes les parties du fourneau. On doit craindre alors des *engorgemens* ou agglutinations de matières dans l'ouvrage et dans le creuset, et il faut travailler plus fréquemment ce dernier pour aider les laitiers à sortir. Cette marche est peu dangereuse si l'on s'y prend à temps pour la corriger; et, dans son origine, il suffit d'accroître un peu la pression du vent, si on la juge trop faible d'après la marche antérieure, ou, mieux encore, de ne pas changer la pression, et d'augmenter le volume d'air par l'emploi de buses un peu plus larges.

Dans le cas de surcharge ou d'emploi de minerais réfractaires, il faut aussi diminuer les charges, ou composer un mélange plus fusible.

Si les tuyères deviennent sombres seulement, et que le laitier présente les signes d'une bonne réduction, c'est-à-dire qu'il soit chaud, pas trop fortement coloré, et léger, la cuve seule est refroidie, et la chaleur se concentre dans l'ouvrage. Dans ce cas, il y a presque toujours compression dans la cuve, ou obstruction dans la partie supérieure de l'ouvrage. Il faut alors fermer l'avant-creuset avec de la terre argileuse bien battue, et augmenter la pression du vent, en activant la soufflerie, jusqu'à ce que le fourneau soit bien dégagé, et que la flamme sorte avec activité par le gueulard.

Sauf surcharges ou minerais réfractaires, les charges peuvent rester les mêmes; mais on peut y ajouter du laitier bien vitrifié, lequel contribue à réchauffer le fourneau et à dissoudre les engorgemens qui se seraient formés. On atteint le même but en ajoutant à chaque charge 4 ou 5 kilog. de fonte en petits fragmens, jetés çà et là dans le gueulard.

Dans tous les cas de refroidissement, la fonte change de nature : la fonte grise devient truitée ou blanche; la fonte blanche, ou devenue telle, perd une partie de sa liquidité dans le creuset, coule assez difficilement et se fige de suite.

Dans certains fourneaux au charbon de bois, la faiblesse des machines soufflantes oblige à travailler constamment à *tuyères sombres;* mais, comme on le voit, cette marche est, en quelque sorte, la limite d'un roulement régulier : elle n'est praticable qu'avec des minerais assez fusibles, et encore

exige-t-elle une attention soutenue de la part des fondeurs. Il est plus difficile de suivre cette allure dans les fourneaux à coke, à cause de la nature du combustible; et les fontes blanches que l'on obtient sont toujours moins bonnes que celles des fourneaux au charbon, dans les mêmes circonstances.

Allure chaude. Cette allure a lieu surtout dans des ouvrages étroits, avec des minerais très fusibles, ou rendus tels par une trop forte addition de fondans ou par l'emploi d'un vent trop fort.

Les tuyères restent claires, le gueulard libre, mais le laitier devient alors très abondant, très liquide et corrosif. Arrosé d'eau, il se boursoufle et forme une matière grisâtre, spongieuse, assez semblable à de la pierre ponce. Dans cet état, il fait entendre une légère décrépitation, surtout en le frappant avec l'haleine; et si l'on travaille au coke, il exhale une forte odeur d'hydrogène sulfuré.

Il n'y a alors aucun autre danger pour le fourneau que de s'élargir plus vite. Il faut ralentir les machines soufflantes et rendre les mélanges moins fusibles, pour diminuer l'abondance des laitiers.

Lorsque la température du fourneau s'est abaissée, on peut regarnir les parois intérieures et rétrécir la capacité de l'ouvrage et du creuset, par surcharge de calcaire pur, distribué principalement au-dessus des costières, ainsi qu'on l'a indiqué en parlant de la mise à feu.

Par l'allure chaude, le point de fusion s'élève et se porte quelquefois au-dessus de l'ouvrage, la fonte grise devient blanche, parce que les laitiers trop fluides ne peuvent l'envelopper et s'opposer à sa décarburation. Ce produit accidentel, ainsi que celui qu'on obtient à la suite d'un roulement régulier en fonte blanche, est toujours chargé de matières étrangères, qui rendent son emploi ultérieur moins avantageux.

Allure sèche (1). Des minerais riches, des mélanges trop réfractaires ou trop pauvres en fondans, et un vent trop fort, peuvent donner lieu à une allure sèche, surtout dans un fourneau dont l'ouvrage est étroit. Dans ce cas, la réduction s'opère bien; mais les laitiers, ne contenant que très peu ou point d'oxide de fer, ont une consistance visqueuse et tenace, coulent très difficilement et se solidifient promptement au contact de l'air. La fonte n'étant pas protégée par une quantité suffisante de laitier, s'affine en partie,

(1) Cette marche, que l'on comprend habituellement dans l'allure chaude, mais dont les caractères et les moyens de correction sont bien différens, a été classée séparément ici, à l'imitation des Anglais, qui la désignent sous le nom de *dry work, travail sec*.

se coagule avec les autres matières, dont elle se sépare difficilement, et forme au-dessus et autour des tuyères des masses qui s'attachent aux parois du foyer, et se durcissent quelquefois au point de ne pouvoir être ramollies par la plus forte chaleur.

Ces masses durcies forment dans l'ouvrage, tantôt des engorgemens que les ouvriers appellent *loupes* ou *renards*, tantôt des *voûtes* qui, s'appuyant sur les parois, s'opposent totalement à la descente des matières, ou ne leur permettent de descendre que d'un seul côté et obliquement.

Les premiers indices de cette marche, qui est très dangereuse, sont l'obscurcissement des tuyères, les masses durcies qui s'y attachent, et la flamme du gueulard qui devient languissante, plus ou moins rouge et fuligineuse.

Dès les premiers symptômes, il faut ralentir les machines soufflantes et diminuer les charges en ajoutant des laitiers purs; puis on nettoie immédiatement le creuset pour en faire sortir les laitiers ou les matières durcies, et faciliter ainsi la descente des couches supérieures. Ce travail difficile et pénible s'exécute au moyen de ringards à biseau aciéré, sur lesquels on frappe à coups de masse. Lorsqu'on a détaché les parties durcies, on les retire avec des ringards ordinaires ou avec des ringards à crochet.

Quoique cette opération refroidisse le creuset et l'ouvrage, il ne faut pas moins la faire à chaque coulée jusqu'à ce que le fourneau soit hors de danger, parce que les engorgemens ou les voûtes ne feraient que s'accroître, et finiraient par obstruer entièrement l'ouvrage.

Si l'on fait usage de tuyères à eau, il faut prendre beaucoup de précautions en enlevant les masses durcies qui s'y sont attachées; sans cela, on peut crever les tuyères, et alors l'eau, se répandant dans le foyer, contribuerait encore à augmenter ses engorgemens.

Lorsque le fourneau est trop dérangé pour se rétablir par ces moyens, il faut avoir aussitôt recours à l'emploi de *fondans actifs*, tels que le sable siliceux, les fragmens de fonte, et les scories riches provenant soit des affineries, soit des marteaux de cinglage. Ces dernières matières, mélangées aux charges dans la proportion de $\frac{1}{10}$ à $\frac{1}{5}$, selon le cas, agissent le plus promptement, et fournissent bientôt une quantité considérable de laitiers chauds et fluides, qui débarrassent le creuset et l'ouvrage, et mettent le fourneau hors de danger.

Si enfin l'engorgement était complet, que le vent ne pût s'élever du

tout et fût refoulé par les tuyères, que l'effet des fondans actifs ne commençât pas à se faire sentir après quelques heures de leur emploi, il ne faudrait pas hésiter à percer le fourneau au point le plus élevé que l'on puisse atteindre dans l'une des embrasures de tuyères, pour détruire ou percer les voûtes à coups de ringard, et frayer au vent un passage vers la cuve. On place, à cet effet, une buse dans l'ouverture pratiquée; on bouche parfaitement la tuyère du dessous, et l'on souffle par cette buse en même temps que par les tuyères inférieures disponibles. Par ce moyen, on accélère l'action des fondans énergiques, et il est rare qu'en peu d'heures on ne parvienne pas à dégager le fourneau. On rebouche ensuite l'ouverture pratiquée avec de la terre et des briques réfractaires, et l'on reprend le travail à l'ordinaire.

Pendant cette opération, il faut travailler fréquemment le creuset, et, s'il était engorgé de manière à ne pouvoir enlever les matières durcies par fragmens, il faudrait enlever la dame, et la replacer le plus promptement possible, après avoir arraché ces matières et nettoyé parfaitement le creuset.

Dans les petits fourneaux au charbon de bois qui ont une tympe en fonte, au lieu de percer dans une embrasure, il suffit presque toujours d'enlever la tympe pour pouvoir pénétrer dans l'ouvrage. On la replace dès que le but est atteint.

Si aucun des moyens indiqués ne réussissait, il faudrait nécessairement démolir la poitrine du fourneau pour atteindre les loupes. Après les avoir retirées, il faudrait alors vider la cuve, reconstruire et remettre à feu.

Lorsque l'allure sèche se manifeste, la fonte grise devient blanche, et celle-ci, comme disent les fondeurs, est *lourde,* c'est-à-dire moins liquide. De plus, elle devient boursouflée ou caverneuse, si l'on ne se hâte d'obvier à cette marche.

Les scories donnent à la fonte un aspect de moiré métallique dans sa cassure, la détériorent et la rendent très cassante. De plus, elles rongent fortement les parois du fourneau, et, par ces motifs, il ne faut les employer que pendant le temps strictement nécessaire, en les supprimant peu à peu.

Indices de dérangement. On voit, par les difficultés de travail qu'occasionnent les dérangemens des fourneaux, combien il est nécessaire d'observer les indices qui peuvent faire prévoir ces dérangemens, et guider dans les moyens à employer pour les prévenir.

Il faut d'abord veiller à la bonne préparation des matières, exiger des chargeurs qu'ils observent exactement les dosages prescrits, et qu'ils répartissent les charges le plus également possible dans le gueulard. Il faut que les fondeurs maintiennent les tuyères toujours libres, et nettoient le creuset, non seulement après chaque coulée, mais encore toutes les fois que les laitiers s'épaississent et refusent de couler d'eux-mêmes. Enfin, il faut éviter toutes variations brusques dans le vent et dans les charges, sauf les cas de danger imminent.

On reconnaît que le vent est trop faible, lorsque le fourneau, marchant régulièrement et le vent traversant bien la cuve, la flamme du gueulard est faible et la descente des charges trop lente. On reconnaît qu'il est trop fort, lorsque le combustible se consomme trop vite et sans produire tout son effet; que le point de fusion s'élève outre mesure, et que les laitiers, ainsi que la fonte, présentent les symptômes d'une allure chaude; lorsqu'il déplace les charbons et produit des descentes obliques ou des éboulemens de matière dans la cuve; enfin, lorsque le laitier devient chaud et corrosif, qu'il contient beaucoup de fer, qu'il se boursoufle et bouillonne devant les tuyères en y formant un nez de fonte demi-affinée.

Il y a surcharge de minerais, soit par excès de richesse, soit par excès de dosage, lorsque le laitier, présentant les caractères précédens, se durcit en outre promptement, et se fige même en partie dans l'avant-creuset; que la fonte coule lentement et devient mate dans sa cassure; que la flamme du gueulard devient rouge et fuligineuse; et qu'en nettoyant le creuset, on en retire des fragmens de minerais à demi fondus ou vitrifiés. Dès que ces indices apparaissent, il faut diminuer les charges, sans rien changer au vent, et nettoyer souvent le creuset, ainsi que les tuyères.

Les minerais trop imprégnés d'humidité produisent presque toujours le même effet qu'une surcharge; mais, dans ce cas facile à reconnaître, il faut ou faire sécher les minerais, ou les charger par couches alternatives avec quelque autre minerai sec, en les étendant sur la plus grande surface possible dans le gueulard. Si l'on n'a aucun de ces moyens à sa disposition, la meilleure correction est de diminuer les charges de minerais, de travailler le creuset avec la plus grande célérité, afin de le bien dégager, puis d'employer un vent fort pour qu'il puisse traverser les matières et réchauffer le fourneau.

La compression des matières, soit qu'elle provienne d'une trop forte

pente des étalages, de minerais trop divisés ou de combustibles trop friables, a toujours pour effet d'empêcher le vent de s'élever, ce dont on s'aperçoit par la flamme du gueulard, et par celle qui s'échappe sous la tympe, et ne peut être contenue qu'avec beaucoup de peine. Dans ce cas, il faut couvrir l'avant-creuset de terre argileuse bien battue, pour opposer une résistance suffisante au courant d'air, et le forcer à s'élever dans la cuve. En même temps il faut charger en combustible plus ferme et plus gros, et avoir surtout le soin d'en retirer tout le fraisil qu'il peut contenir, lequel descend dans l'ouvrage et dans le creuset, y forme une espèce de brasque infusible, ou des masses agglutinées de laitiers, qu'on est obligé de faire sortir du foyer. Pour obvier aux inconvéniens qui peuvent résulter d'une compression et prévenir une allure froide, il faut employer de suite quelque fondant actif, afin de frayer un passage au vent, et de rendre le laitier assez abondant et assez liquide pour que le creuset ne puisse s'engorger. Il faut, de plus, après les coulées, sonder le creuset jusqu'à la rustine pour le dégager dans toutes ses parties, et le flamber pour le réchauffer avant que de reboucher la tympe.

Si le laitier s'amoncèle du côté de la rustine, que l'avant-creuset se dessèche, et que le métal s'écoule par dessus la dame, sans qu'il ait passé un nombre de charges suffisant pour emplir le creuset, c'est un indice d'engorgement à la rustine. Il faut haler les laitiers le plus tôt possible, parce qu'ils se figeraient devant la tuyère. Pour les ramener dans l'avant-creuset, on introduit successivement dans le creuset plusieurs ringards, qu'on enfonce lentement et qu'on retire de même en les faisant tourner toujours dans le même sens. On enlève ainsi chaque fois un manchon de laitiers attachés aux ringards, et on continue cette opération jusqu'à ce que le laitier arrive à flots, et en bouillonnant, dans l'avant-creuset. Cela fait, on recouvre ce dernier de fraisil pour arrêter les bouillonnemens et conserver la chaleur.

Si les tuyères deviennent noires, qu'elles s'obstruent, et que le ringard qu'on y engage éprouve de la résistance à pénétrer dans le foyer, si le vent est refoulé au-dehors, c'est l'annonce d'un engorgement dans l'ouvrage.

Un laitier rouge à surface grenue, épais, et coulant avec peine, annonce que le combustible produit ou contient trop de fraisil.

Les matières pulvérulentes, espèce de cadmies, qui se déposent sur la tympe, servent aussi à indiquer le changement de marche d'un fourneau. Lorsqu'on marche en fonte grise, ces matières sont blanches, et dès que

le fourneau passe à la fonte blanche, elles prennent une teinte grise très prononcée.

Travail à l'air chaud. Les dérangemens qui se présentent dans la marche des hauts-fourneaux résultent généralement des variations de température intérieure, quelles qu'en soient les causes; et comme l'emploi de l'air chaud rend ces variations moins fréquentes et moins considérables, il doit s'ensuivre, et il s'ensuit en effet que le travail à l'air chaud est beaucoup plus facile que le travail à l'air froid.

Indépendamment des avantages économiques qu'il procure (voy. section II), l'emploi de l'air chaud imprime aux fourneaux une marche plus régulière et plus soutenue, maintient les laitiers à l'état et à la température convenables, et diminue de beaucoup les chances de dérangemens provenant même de l'humidité des matières, de la qualité réfractaire des minerais ou de surcharges. Lorsque ces dérangemens se présentent, ils sont d'ailleurs plus faciles à corriger, et l'on a rarement besoin de recourir aux moyens énergiques précédemment indiqués.

La plupart des fourneaux, marchant à l'air chaud, ont une tendance vers l'allure chaude, et c'est presque toujours contre elle qu'il faut se prémunir. Son action est plus destructive qu'avec l'air froid, et les parois de l'ouvrage et du creuset en sont bien plus fortement attaquées.

L'allure froide ne se présente que très rarement; et ce n'est guère que par l'emploi trop abondant de minerais réfractaires qu'un fourneau peut tomber en allure sèche.

Les avantages de l'emploi de l'air chaud diminuent rapidement à mesure que la température de cet air est moindre, et il faut tâcher de la maintenir toujours á peu près au degré de fusion du plomb. On a reconnu, à l'usine de Calder (Écosse), que, lorsqu'elle descend au-dessous du point de fusion de l'étain (212° cent.), la flamme du gueulard, au lieu d'être claire et légère, se charge de fumée, le fourneau s'engorge, les laitiers deviennent noirs et les produits sont de mauvaise qualité.

Travail d'une coulée. A moins que la fonte d'un haut-fourneau ne soit destinée à des objets de moulage, on la reçoit généralement dans des rigoles creusées dans le sable de la fonderie.

Le sable dont on fait usage doit être assez argileux pour conserver les formes qu'on veut lui donner lorsqu'il est humecté, exempt de chaux et assez fin. Le meilleur est celui qui provient de sablières ouvertes à peu de profondeur au-dessous de la terre végétale. S'il est trop argileux, il con-

serve trop d'humidité, il n'est plus assez poreux pour laisser dégager la vapeur d'eau et les gaz qui se forment, et il en résulte souvent des bouillonnemens et des explosions qui lancent la fonte au loin.

Si l'on ne peut avoir que du sable de cette espèce, il faut y mélanger du poussier de charbon ou de coke pour le diviser et le rendre plus poreux.

On arrose ordinairement le sable aussitôt qu'on en a retiré la fonte de la coulée précédente, puis on le retourne avec une bêche, pour le mélanger et le faire essorer.

Une heure au moins avant la coulée, on le retourne de nouveau et on le dispose à peu près horizontalement; puis, au moyen d'un gros tamis, on recouvre toute la surface d'une couche de sable passé.

Si l'on veut couler la fonte en grands prismes, que l'on désigne sous le nom de *gueuses*, on se borne à faire dans le sable le nombre de moules nécessaires, au moyen d'une charrue représentée Pl. 22, *fig.* 48 et 49, puis on en bat légèrement la surface avec une pelle ou avec un battoir, *fig.* 50 et 51.

Si l'on veut couler la fonte en *saumons* ou *gueusets*, comme cela est nécessaire pour le service des fineries et des cubilots ou fourneaux à la Wilkinson, il faut avoir un certain nombre de modèles de gueusets en bois léger, et un modèle de même forme, mais ayant 2^{m}50 à 3^{m} de longueur pour former la chenée alimentaire. Les modèles de gueusets ont de 0^{m}80 à 1^{m} de longueur, 8 à 11 centimètres en largeur et hauteur, et sont un peu arrondis en dessous.

On pose les modèles de gueusets sur le sable, perpendiculairement au modèle de chenée, en les y enfonçant légèrement et laissant entre eux 4 à 5 centimètres d'intervalle, en sorte que leur réunion avec la chenée présente la forme d'un peigne, dont la chenée est le dos. On remplit tous les intervalles des modèles avec du sable passé, que l'on serre légèrement, puis on enlève tous les modèles avec soin pour ne pas faire ébouler le sable, et on passe, au besoin, le battoir dans les moules pour égaliser les surfaces et établir complétement la communication de chaque moule avec la chenée. Les mêmes modèles servent ensuite à préparer d'autres moules à la suite des premiers, et en nombre suffisant pour la quantité de fonte à recevoir.

Lorsque le moment de couler est arrivé, on met les gueuses ou la chenée des gueusets en communication avec le trou de coulée, par une rigole creusée à la pelle ou à la charrue.

Quelques instans avant la coulée, on travaille au creuset de manière à enlever la plus grande quantité possible de crasses amoncelées sur le devant, et à faire écouler une partie des laitiers. Cela fait, un aide-fondeur bouche le trou de chio avec du fraisil et de la terre mélangés, pour empêcher le laitier de sortir et de gêner le travail ultérieur. Le fondeur prend alors le ringard à tampon, Pl. 22, *fig.* 45, et, le plongeant, à plusieurs reprises, dans l'avant-creuset, il forme à son extrémité un tampon conique en laitier, en le roulant sur une plaque de fonte. Il place ensuite ce ringard, ainsi qu'un autre ringard en fer rond et à pointe, le long de la plaque de gentilhomme, le tampon et la pointe au-dessus de l'avant-creuset pour les tenir chauds.

Pendant ce temps, un aide prend un ringard à crochet plat, *fig.* 43, enveloppe le crochet de laitier à 6 ou 7 lignes d'épaisseur seulement, et le pose également au-dessus de l'avant-creuset.

Ces préparatifs terminés, le fondeur commence à dégager le trou de coulée avec un ringard à main, le plus près possible de la sole et aussi avant qu'il peut; puis il prend un *perçoir, fig.* 38 et 39, et le tient daps la direction du trou de coulée, tandis qu'un aide-fondeur l'y fait entrer à coups de masse. Dès que l'on aperçoit quelques gouttes de fonte, le fondeur saisit le ringard à tampon, et se tient prêt à le présenter devant la coulée dès que l'aide aura retiré le perçoir, et en même temps on arrête le vent.

Le fondeur tient son tampon devant la coulée tant que le métal s'écoule, lui donnant plus ou moins d'issue, selon le besoin. L'aide prend son crochet, et s'en sert pour retenir la fonte à l'entrée des gueusets, de manière qu'elle les emplisse tous successivement.

Lorsque les laitiers arrivent, un autre aide jette du sable vers le haut de la chenée pour former un barrage, qu'il bat fortement; il arrête ainsi les laitiers, et leur ouvre un passage latéral.

Pour faciliter la sortie des laitiers, le fondeur enfonce dans le creuset, par la coulée, le ringard qu'il a fait chauffer, et l'agite en tous sens; dès que les laitiers ne coulent plus que lentement, on *flambe* le creuset en rendant le vent pendant une ou deux minutes, et, par ce moyen, on le dégage entièrement des matières liquides.

Soit au moyen d'un ringard à main, soit avec un ringard à masse, le fondeur qui entre en tournée ouvre ensuite le trou de coulée autant que possible, le nettoie parfaitement, puis le rebouche avec du sable argileux ou de la terre à brique bien battus.

Les fondeurs et aides des deux tournées procèdent alors au nettoyage du creuset en se relevant alternativement pour ce travail pénible. Un des fondeurs prend un ringard, et détache d'abord de la plaque de tympe le sable qui y est attaché et qui formait le *bouchage* de l'avant-creuset ; un aide le reçoit sur sa pelle et le jette de côté. Le fondeur lui présente successivement avec son ringard toutes les crasses qu'il détache, et il les enlève également. Lorsque des crasses adhèrent trop fortement aux parois du creuset, qu'il est essentiel de bien dégager, on les détache à coups de masse avec des ringards à biseaux aciérés, et l'on jette quelques pellées de fraisil entre les parois du creuset et ces crasses, afin qu'elles n'adhèrent pas de nouveau.

Le nettoyage achevé, deux ouvriers prennent chacun un ringard, les enfoncent le long des côtés du creuset jusqu'à la rustine, font effort pour rapprocher et croiser les extrémités engagées, puis, les retirant dans cette position, ramènent dans l'avant-creuset du coke, et souvent aussi des parties de laitier refroidi, que l'on enlève à mesure qu'elles se présentent. On répète cette opération jusqu'à ce que l'avant-creuset soit rempli de combustible jusqu'au-dessus de la dame. Alors on égalise ce combustible avec une pelle, et on le couvre d'une couche de fraisil qui s'étend sous la plaque de tympe, et garnit les parois latérales jusqu'à 12 à 15 centimètres de profondeur, pour empêcher que la terre de bouchage et les crasses n'y adhèrent trop fortement.

Le fondeur qui entre en tournée, et ses aides, jettent alors du sable argileux ou de la terre grasse contre la tympe, pour boucher l'espace ouvert qui reste en dessous, et serrent fortement ce bouchage avec des ringards terminés en crochet plat ; après quoi, on rend le vent, et on ouvre un peu l'avant-creuset vis-à-vis du chio pour donner issue à la flamme, et frayer ainsi le passage du laitier.

L'opération qu'on vient de décrire est celle de la coulée des fourneaux à coke, et elle dure ordinairement une demi-heure à trois quarts d'heure. La coulée des fourneaux au charbon de bois exige moins de temps et moins de peine, mais la marche du travail est toujours la même.

Une heure environ après la remise du vent, lorsqu'on s'aperçoit que le laitier commence à se produire avec assez d'abondance pour obstruer les tuyères, on brise la croûte qui recouvre l'avant-creuset, et on hale les matières en les ramenant de la rustine à la dame, et de dessous en dessus, au moyen de ringards. On facilite ainsi la descente des matières et l'écou-

lement des laitiers. Cette opération se répète à peu près d'heure en heure, jusqu'au moment où les laitiers commencent à s'écouler d'eux-mêmes par le chio, et alors le fourneau a repris son train régulier.

Ouvriers nécessaires. Il faut, pour le service d'un haut-fourneau, deux fondeurs, deux aides-fondeurs, quatre chargeurs et de quatre à huit manœuvres pour préparer les matières et les amener au gueulard. Dans les grands fourneaux au coke, il faut souvent deux aides-fondeurs et deux chargeurs de plus. Ces ouvriers se partagent en deux brigades, qui alternent entre elles de coulée en coulée ou par tournées régulières de douze en douze heures, jour et nuit. Les fondeurs et aides alternent toujours par coulée, et doivent être tous présens lorsqu'on fait cette opération. Ce sont eux qui enlèvent ordinairement les fontes et les laitiers; mais, dans les grandes usines, on emploie des manœuvres pour toutes les parties de service de la fonderie qui ne se rattachent pas directement au travail des fourneaux.

Changemens et réparations qui s'exécutent pendant la marche des hauts-fourneaux.

Les travaux qui peuvent s'exécuter sans arrêter les hauts-fourneaux, sont : les changemens de dames et de tuyères, et les réparations des parois réfractaires que l'on peut atteindre par les embrasures.

Changement de dame. Lorsqu'une dame est hors de service, et qu'il faut la changer, on y procède immédiatement après une coulée et avant de nettoyer le creuset. On débarrasse promptement le devant du fourneau, on enlève les plaques de gentilhomme et de dame, et on brise la dame à coups de masse. On fait alors sortir de l'avant-creuset le combustible qui peut gêner, et on retient celui qui y reste en le recouvrant de terre argileuse battue. Après s'être ainsi isolé du feu, on nettoie parfaitement la place de la dame, et on y pose la nouvelle, qui a dû être préalablement chauffée. On garnit les joints en mortier réfractaire, et l'on rétablit les plaques le plus promptement possible, pour continuer ensuite les opérations qui suivent la coulée, et ayant soin d'enlever la terre dont on s'est servi pour contenir le combustible.

Changement de plaque de tympe. Dans les fourneaux au coke, il faut avoir soin de changer la plaque de tympe lorsque le dessous en est rongé, afin de conserver la pierre ou les briques de tympe. Cette opération se fait comme lorsqu'on met la première plaque (voy. *Descriptions*, Ire partie,

p. 33), et on peut le faire, au besoin, dans l'intervalle des coulées, parce qu'elle exige très peu de temps. Le changement du fer de tympe dans les fourneaux au charbon de bois est rarement nécessaire; mais, comme il est plus long, on ne doit le faire qu'après une coulée.

Changement de tuyère. On doit changer les tuyères à eau dès qu'elles perdent de l'eau dans le creuset, et les tuyères sèches lorsque le museau est rongé et que l'œil est devenu trop large pour diriger le vent convenablement dans le fourneau. Ces dernières ne se changent qu'à la coulée; mais si les pertes des tuyères à eau sont considérables, il faut les changer immédiatement. Si les costières sont fortement dégradées, il faut avancer la nouvelle tuyère de 12 à 16 centimètres dans l'intérieur du creuset, ce qui les expose à se détruire plus promptement. Pour parer à cet inconvénient, on introduit des pelottes d'argile réfractaire par l'orifice de tuyère, et, au moyen de ringards, on en forme un bourrelet qui protège le bout et particulièrement le dessus de la tuyère. Ce bourrelet s'attache au museau, et arrêtant les matières durcies qui descendent le long des parois, il préserve la tuyère de toute dégradation pendant assez long-temps, si l'opération a été bien faite.

Réparations pendant la marche. Les parties des fourneaux qui se dégradent le plus, sont les costières vis-à-vis des tuyères, les parois de l'ouvrage correspondantes et la tympe. Pour les réparer, après avoir préparé les matières et rassemblé tous les ouvriers nécessaires, la coulée étant faite, on démolit par parties les parois à remplacer jusqu'à l'intérieur du fourneau; et, au moyen de masses d'argile réfractaire, on contient et on refoule le combustible pour s'isoler du feu et se faire place. On reconstruit alors la partie démolie, et on continue de la même manière, de proche en proche, jusqu'à ce que toute la réparation soit faite. Ce travail étant assez long, et toujours très pénible à faire, on ne l'exécute jamais que d'un seul côté à la fois; puis, après avoir bien nettoyé le creuset, on remet le fourneau en marche. S'il y a d'autres réparations semblables à faire, on les espace de semaine en semaine au moins, afin que le fourneau soit remis en parfaite allure avant de les commencer.

Suspension du travail et mise hors des hauts-fourneaux.

On est quelquefois obligé de suspendre la marche des hauts-fourneaux, soit par manque accidentel des matières premières, soit pour réparer les machines soufflantes.

Si la suspension ne doit durer que peu de jours, il suffit de bien nettoyer le creuset après la dernière coulée et de bien le boucher, ainsi que les tuyères. Dans les fourneaux au charbon de bois on bouche aussi le gueulard avec des plaques de fonte ou de tôle recouvertes de terre. En faisant une grille tous les deux ou trois jours, et remplaçant par du combustible, pour les charges qui s'affaissent, un fourneau peut rester pendant douze à quinze jours dans cet état sans danger. Lorsqu'on veut le remettre en marche, il faut avoir soin de bien nettoyer le creuset avant de rendre le vent.

Lorsque le chômage doit durer long-temps, il faut fondre tout le minerai que contient le fourneau et charger en combustible seulement jusqu'à ce qu'il soit plein. On arrête alors les machines soufflantes, on enlève la dame, et on bouche partout à la partie inférieure avec de la terre battue. En nettoyant le creuset au plus une fois tous les deux jours, un fourneau peut rester ainsi pendant plusieurs mois. Pour le remettre en activité, on charge en minerai en augmentant rapidement les doses, et l'on agit, du reste, comme pour une mise à feu.

Si les machines soufflantes se brisent et exigent de longues réparations, il faut alors vider le fourneau de minerais, charger à mesure en combustible, et agir alors comme précédemment. Les matières que l'on retire du fourneau étant éteintes, on les trie et on les fait rentrer en petites quantités dans les charges lors de la reprise du travail.

On voit que pour toute suspension il faut se ménager une certaine quantité de combustible pour entretenir le fourneau plein.

Mise hors. Mettre hors un fourneau, c'est en arrêter tout-à-fait le roulement. On est forcé de mettre hors, lorsque l'ouvrage est trop élargi ou que les parois intérieures sont dégradées au point d'occasionner de fréquens éboulemens; mais on est souvent obligé d'avancer cette époque, parce que le fourneau brûle trop de combustible, et ne peut plus produire avec avantage, soit sous le rapport économique, soit sous le rapport de la qualité des fontes.

Dès qu'on veut mettre hors, on diminue les charges de minerai de manière à n'en plus mettre du tout au bout de trois ou quatre jours; mais on continue les charges en combustible et en fondans, en ajoutant à ceux-ci du laitier pur et des scories de forge pour bien dégager le fourneau. On fait encore quelques charges de combustible seulement lorsqu'on a cessé de mettre du minerai.

On laisse alors descendre les charges jusqu'à ce que tout le minerai soit fondu, puis on arrête les machines soufflantes; on enlève la dame, et on retire le reste des matières à la pelle, en arrachant du creuset les masses adhérentes pendant qu'elles sont encore rouges.

On laisse alors refroidir le fourneau, et quelquefois on donne le vent pour accélérer cette opération.

Avant de procéder à la démolition des parois intérieures, il faut relever les formes qu'a prises le fourneau pour les comparer à la construction primitive, et faire à celle-ci les modifications que l'on peut juger nécessaires.

Le creuset, l'ouvrage, et quelquefois la partie inférieure des étalages, doivent être reconstruits à neuf; mais la cuve est rarement endommagée après un seul fondage, et peut durer plusieurs années.

La durée d'un fondage ou d'une *campagne* dépend beaucoup de la qualité des matériaux de construction; mais elle dépend aussi de la manière dont le travail a été conduit. Les fourneaux au charbon de bois ne marchent ordinairement que pendant huit à dix mois, ou un an au plus. Les fourneaux à coke peuvent rouler pendant dix-huit mois au moins, et assez ordinairement pendant deux ans et demi à trois ans. Il en est même, en Angleterre, qui ont marché pendant huit à dix ans, sans autres réparations que celles qu'on peut faire sans arrêter le roulement.

SECTION VIII.

NATURE DES FONTES; CAUSES QUI INFLUENT SUR LEUR PRODUCTION. — BLANCHIMENT DE LA FONTE DANS LES HAUTS-FOURNEAUX. — TRAITEMENT DES MINERAIS SULFUREUX ET PHOSPHOREUX. — TRAITEMENT DES SCORIES.

Nature des fontes. Les fontes, d'après l'aspect de leur cassure, se divisent en fontes noires, grises, truitées grises, truitées blanches, blanches lamelleuses et blanches grenues. Ces diverses espèces de fontes diffèrent entre elles, non seulement par leur contenu en carbone, mais encore par l'état auquel le carbone s'y trouve.

Dans la fonte blanche, le carbone est entièrement combiné, et sa proportion varie de 4,25 à 5,25 pour 100.

La fonte grise ne contient que de 0,58 à 1,03 p. 100 de carbone combiné, et le surplus s'y trouve en mélange à l'état de graphite (carbure de fer, plombagine) dans des proportions qui varient de 2,57 à 3,71 p. 100.

Les fontes les plus grises ou noires sont celles qui contiennent le plus de graphite; il se porte à la surface sous forme pulvérulente, ce qui lui a fait donner le nom de *limaille* par les ouvriers.

Les fontes noires et grises sont poreuses, douces à la lime, un peu malléables et assez résistantes.

Les fontes blanches sont dures, cassantes et moins tenaces que les fontes grises.

Les fontes truitées ont des propriétés intermédiaires, selon qu'elles se rapprochent plus ou moins de l'une ou de l'autre des deux espèces précédentes.

On peut reconnaître la nature des fontes à la manière dont elles coulent et se refroidissent.

La fonte grise, obtenue à une température convenable, coule tranquillement en sortant du foyer, et sans lancer d'étincelles. Sa couleur est d'un blanc rougeâtre; elle est d'une liquidité parfaite, se refroidit lentement, et prend parfaitement les empreintes des moules. Pendant le refroidissement, la pellicule qui couvre sa surface est comme parsemée de vermicules très courts, ramifiés à l'infini, et ayant un mouvement très vif en tous sens. Après le refroidissement, les arêtes sont vives, la surface est unie, plane ou légèrement bombée. Cassée à froid, son grain est brillant et d'un aspect métallique; il est d'autant plus gros, d'ailleurs, que la masse coulée a plus de volume.

Tels sont principalement les caractères des fontes très grises obtenues au charbon de bois; mais on les retrouve aussi dans les fontes au coke lorsque ce combustible est pur, et que les minerais sont propres à ce genre de production.

La fonte gris-clair ou truitée, obtenue en bonne allure, coule avec beaucoup de vivacité, en jetant d'autant plus d'étincelles, qu'elle se rapproche plus de la fonte blanche; elle est très liquide, et remplit bien les moules. Sa couleur est le blanc éclatant, avec un léger reflet rougeâtre, et quelquefois des taches jaunes, si le combustible contient encore beaucoup de soufre. Elle se refroidit assez promptement, et présente à sa surface des ramifications plus grandes et moins vives que la fonte très grise. En se

figeant, ses arêtes s'arrondissent; sa surface se couvre de pellicules, se crible souvent de petites soufflures, et devient légèrement concave. Cassée à froid, elle présente toujours un grain serré, et le plus souvent une couleur matte ou cendrée, ayant très peu de reflets métalliques.

Ces fontes sont celles que les fourneaux à coke produisent avec le plus d'avantages, et elles sont très bonnes comme *fontes de forge*, c'est-à-dire pour la fabrication du fer.

La fonte blanche argentine à cassure lamelleuse, provenant, soit des fourneaux au charbon de bois, soit des fourneaux à coke, coule en jetant de nombreuses et vives étincelles. Elle est très liquide, et remplit bien les moules; mais elle se refroidit promptement en présentant des ramifications étendues et peu vives. Ses arêtes s'arrondissent, sa surface est rugueuse, concave, et, dans les fourneaux à coke, presque toujours criblée de soufflures formées par le soufre qui s'échappe en flammes jaunâtres. Cette fonte est toujours assez pure, et, provenant de fourneaux au charbon de bois, elle est très propre à la fabrication du fer.

La fonte blanche à cassure grenue est peu coulante ou *lourde*, selon l'expression des ouvriers; les bords forment des espèces de bourrelets le long de la chenée; elle remplit mal les moules, se fige presque immédiatement, et présente la surface la plus inégale.

Les fontes blanches, et surtout les fontes lamelleuses sont très sonores, tandis que les fontes grises ne rendent que peu ou point de son. Enfin, les fontes blanches retiennent fortement le sable des moules, tandis que les grises s'en dépouillent avec la plus grande facilité.

Causes qui influent sur la nature des fontes. — *La fonte grise* exige que les fourneaux reçoivent dans toute leur capacité, depuis la sole jusqu'au gueulard, des degrés de chaleur convenables et proportionnés à la nature du minerai et du combustible. Il faut surtout, et c'est la condition indispensable, que la température s'élève au plus haut degré dans l'ouvrage. Le vent doit traverser facilement les matières et sortir du gueulard avec régularité; enfin, le laitier doit être suffisamment abondant, ni trop liquide ni trop visqueux.

Excepté avec des minerais trop fusibles, ou rendus tels par les fondans, si les conditions précédentes sont bien remplies et le fourneau pas trop large, on peut toujours obtenir de la fonte grise, surtout avec des minerais moyennement fusibles, ou même réfractaires dosés convenablement, et en tenant les charges au-dessous du maximum que peut porter le combustible.

Les minerais spathiques, devenus réfractaires par la présence dominante de la magnésie, et les carbonatés argileux, produisent une très bonne fonte grise, en y ajoutant quantité convenable de fondans. Les laitiers de premiers sont assez souvent opaques; mais les seconds produisent un laitier clair et peu coloré.

La fonte blanche est obtenue, soit par suite d'irrégulairté de la marche d'un fourneau travaillant en fonte grise, soit en roulement régulier avec les minerais, et dans les circonstances propres à la produire. Dans le premier cas, on obtient ordinairement de la fonte grenue, et dans le second de la fonte lamelleuse; mais ce dernier produit s'obtient plus aisément des fourneaux au charbon de bois que des fourneaux à coke.

On peut obtenir la fonte blanche en roulement régulier :

1°. Par une trop grande fusibilité des minerais ou des charges; d'où résulte que les matières, à cause de leur extrême liquidité, ne peuvent séjourner le temps nécessaire dans la partie du fourneau où règne la plus forte chaleur;

2°. Si, en vertu d'une trop lente combustion, l'ouvrage et la cuve manquent de chaleur à la fois, bien que le laitier reste pur et que le fourneau suive, du reste, une bonne allure;

3°. Si l'ouvrage seul manque de chaleur, et que la cuve ait reçu le degré de température nécessaire; effet qui proviendrait d'un vent trop fort ou d'un combustible trop léger, saus que, d'ailleurs, le fourneau soit déréglé dans sa marche;

4°. Par des étalages d'une pente trop rapide, et par un vent dont la vitesse est trop grande, sans que le laitier devienne impur;

5°. Si le minerai, sans y être préparé, est exposé subitement à la plus haute température; d'où résultent une fusion trop prompte et une carburation incomplète;

6°. Par une trop forte compression que les matières renfermées dans la cuve exercent sur les couches inférieures. Concentrée alors dans le creuset, la chaleur ne peut s'élever jusqu'aux étalages et au vent. Du reste, l'allure du fourneau paraîtra bonne, les scories et la flamme ne donneront d'abord aucun signe de dérangement.

Il est difficile, néanmoins, qu'une telle allure puisse se soutenir longtemps; elle est, en quelque sorte, la limite d'un roulement régulier.

Les minerais spathiques non magnésiens, et dans lesquels domine l'oxidule de manganèse, sont très disposés à produire la fonte lamelleuse, à

cause de leur grande fusibilité. Il en est de même des carbonatés lithoïdes avec faible addition de calcaire; mais ils donnent des laitiers foncés et colorés en noir, parce que le silicate d'alumine ne peut entrer en fusion qu'en se chargeant d'oxide de fer.

En roulement irrégulier la fonte blanche est produite :

1°. Par une surcharge de minerais qui, abaissant la température, dérangent le fourneau, et donnent des laitiers impurs et chargés de fer;

2°. Par toutes les causes qui peuvent produire une allure irrégulière ou des engorgemens;

3°. Par un dérangement qui, sans pouvoir être attribué à une surcharge de minerais, provient de l'irrégularité dans la descente des charges, des éboulemens qui en sont le résultat, etc., etc.;

4°. Par une grande quantité de cendres et de fraisil renfermés dans les combustibles, ce qui produit des laitiers très visqueux, et peut occasionner des engorgemens;

5°. Par un refroidissement accidentel du foyer, provenant de l'humidité ou d'autres causes;

6°. Par un foyer assez élargi pour qu'il ne soit plus possible d'y concentrer la chaleur.

La fonte blanche *lamelleuse* est celle qu'on obtient par le plus bas degré de chaleur que permette une réduction complète, quelle que soit d'ailleurs la cause de sa production.

Par une température plus élevée, on obtient de la *fonte mêlée* ou *truitée* à fond gris-clair ou à fond blanc, selon que la température se rapproche plus ou moins de celle qui donnerait de la fonte grise.

Par une plus basse température, au contraire, le fer ne peut se saturer de carbone, la réduction devient incomplète, et l'on obtient généralement de la *fonte blanche grenue*, surtout si à cette cause principale se joignent encore des causes accidentelles, telles que des minerais mal boccardés, mal grillés ou humides, une surcharge de minerais réfractaires, l'élargissement du fourneau, etc.

C'est dans la production de la fonte blanche lamelleuse que l'effet du combustible est le mieux utilisé; cette fonte serait donc, sous le rapport commercial ou économique, la plus avantageuse à produire; mais comme elle ne peut servir au moulage, qu'elle occasionne une plus prompte détérioration des fourneaux, ce qui abrége la durée des fondages et multiplie les

frais d'entretien, on préfère généralement fabriquer de la fonte grisâtre, surtout dans les fourneaux à coke, et lorsqu'il ne s'agit, d'ailleurs, que de faire de la fonte de forge.

On doit éviter, autant que possible, la fonte grenue, parce qu'elle entraîne toujours à une consommation plus grande en combustible et minerais, et qu'elle est, en outre, plus chargée de matières étrangères qui rendent son emploi ultérieur moins avantageux.

La fonte blanche devient caverneuse dans sa cassure, par suite d'une allure sèche ou par défaut de fondans. Dans ce dernier cas, elle éprouve une espèce d'affinage sous le vent des tuyères, et ressemble beaucoup au fin métal que l'on prépare dans les fineries à l'anglaise. Cette fonte se convertit facilement en fer; mais comme elle est très impure, le fer qui en provient est de mauvaise qualité.

Les *fontes truitées* s'obtiennent en général par une température intermédiaire entre celles qui conviennent aux fontes grises et aux fontes blanches, et avec des mélanges moyennement fusibles. Le moyen le plus certain de les obtenir d'une manière constante, sauf les dérangemens accidentels, est de composer les charges de minerais grillés et de minerais crus, dosés de manière que la marche du fourneau soit régulière et que le laitier soit pur. On obtient alors un composé de fonte blanche lamelleuse et de fonte grise, semblable à la fonte mêlée ordinaire, mais plus tenace, et se comportant de la même manière dans sa transformation en fer.

On parvient encore au même but en composant les charges de minerais réfractaires et fusibles préalablement grillés, et dans les deux cas on peut, en quelque sorte, obtenir telle nuance de fonte que l'on veut, en variant les proportions des dosages.

BLANCHÎMENT DE LA FONTE DANS LES HAUTS-FOURNEAUX.

On peut blanchir la fonte dans le haut-fourneau, soit par addition de minerais jetés dans le creuset, soit par l'action du vent des tuyères. L'un ou l'autre moyen s'emploie dans les usines où l'on n'obtient habituellement que de la fonte grise, et lorsque cette fonte est destinée à la fabrication du fer.

Blanchîment par addition de minerais. On choisit de préférence, pour cette opération, des minerais riches et très purs, que l'on concasse à peu

près à la grosseur d'une noix. Environ deux heures avant la coulée, on introduit dans le creuset 15 à 20 kil. de ce minerai, en le faisant passer par les trous des tuyères. Au bout d'un quart d'heure le laitier s'écoule en grande abondance, et lorsque cet écoulement s'est ralenti, on brasse la fonte dans le creuset avec un ringard. On procède ensuite à une deuxième addition, ou même à plusieurs additions successives, s'il est nécessaire, en suivant toujours la même marche.

Par ce moyen, on décarbure la fonte, et on peut conduire l'opération aussi loin qu'on le veut, jusqu'à la rendre entièrement blanche.

Il ne faut pas que le creuset soit tout-à-fait rempli de fonte lorsqu'on commence à introduire le minerai, parce que si le foyer était trop rempli de matières, la tympe pourrait entraver la sortie des laitiers qui se forment rapidement en grande abondance, et qui doivent s'écouler avec rapidité.

En général, ce mode de blanchiment ne convient que dans le cas où l'on dispose de minerais purs et très peu chargés de silice, parce que l'addition des minerais dans le creuset augmente encore la quantité de silicium renfermée dans la fonte, et que cette matière ne s'enlève que très difficilement par le travail de l'affinage, lorsque la fonte est déjà décarburée en partie.

Blanchiment par l'action du vent. Si l'on travaille en fonte grise, et que le métal s'élève assez dans le creuset pour commencer à s'écouler avec les laitiers, on observe que la fonte qui sort ainsi présente fréquemment des parties toutes blanches, ce qui est dû à une décarburation partielle produite par le vent des tuyères en déplaçant le laitier.

En régularisant cette action et en donnant au vent une direction convenable, on peut blanchir, jusqu'à un certain point, toute la fonte contenue dans le creuset.

On suit, dans l'Eiffel, le procédé suivant : Dès que le métal s'élève dans le creuset jusqu'à 5 ou 6 centimètres au-dessous de la tuyère, on forme sur cette dernière un nez en terre glaise ou en laitiers légers ayant une saillie de 5 à 6 centimètres. Par ce moyen, on rabat le courant d'air sur la surface du bain métallique, et on le dépouille de la couche légère de laitier qui peut le recouvrir encore.

Un tampon de laitier, préparé d'avance et placé entre la tympe et la dame, empêche que la fonte, pressée par le courant d'air, ne déborde cette dernière. On active le vent, afin qu'il agisse avec plus de force sur le bain, et qu'il pousse vers la tympe le laitier qui se forme pendant l'opération. La flamme de la tympe, qui conserve sa couleur pendant ce travail,

devient moins forte; le fourneau n'éprouve pas de refroidissement sensible; la réduction et la fusion des matières supérieures à la tuyère continuent de s'effectuer; la descente des charges n'est pas interrompue, mais elle se trouve ralentie dans le rapport de 3 à 5.

On est obligé de faire écouler à plusieurs reprises les scories qui, sous le rapport de leur consistance, ressemblent d'abord aux laitiers ordinaires; mais elles deviennent plus tard si liquides, qu'elles percent la couche de laitiers figés qui couvre l'avant-creuset, et qu'elles s'écoulent librement sur la dame. On y conserve ces matières figées pour éviter une trop grande perte de chaleur, et on ne les enlève que lorsque la couche est trop dure ou trop épaisse; mais elles sont bientôt remplacées par une couche nouvelle.

Ces scories refroidies sont poreuses, légères et semblables à celles des scories pauvres des forges, à cela près qu'elles sont mélangées de laitier provenant de la réduction des minerais.

La fonte liquide change peu à peu sa couleur, qui s'éclaircit en passant du rouge au jaune. Ce changement, et surtout la naissance d'une foule de petites étincelles qui se répandent du creuset dans la tuyère, sont les signes auxquels on reconnait que le travail touche à son terme. On s'empresse alors de faire la coulée, parce que ces étincelles annoncent la combustion du fer.

La durée de l'opération varie selon la largeur du creuset : au commencement d'une campagne, elle peut s'achever en une heure; mais vers la fin du fondage, lorsque le creuset est élargi, elle exige souvent trois ou quatre fois plus de temps.

La fonte lance, pendant la coulée, une multitude d'étincelles blanches ou bleuâtres; sa couleur est blanche argentine et sa cassure caverneuse. La coulée terminée, on nettoie le creuset, on enlève le nez de la tuyère, et l'on remet le fourneau en train, comme on l'a indiqué dans la précédente section.

Dans les usines du Berry, on a modifié avantageusement le procédé que l'on vient de décrire. Le haut-fourneau est pourvu de deux tuyères, dont l'une reçoit de temps en temps une direction plongeante, lorsque le creuset commence à se remplir, tandis que l'autre conserve toujours sa position horizontale. Par ce moyen, la descente des matières s'effectue sans ralentissement, pendant que le bain de fonte éprouve l'action décarburante du courant d'air.

Cette méthode n'est applicable qu'avec des minerais fusibles traités au

charbon de bois; et il est essentiel qu'ils ne soient point phosphoreux, et que leur réduction puisse s'opérer sans une trop forte dose de fondans, afin que la fonte ne se charge pas d'une trop grande quantité de silicium. Cette dernière considération explique pourquoi on ne doit point blanchir la fonte dans les fourneaux au coke.

On blanchit aussi la fonte au sortir du fourneau; mais cette opération, se rapportant plus directement à la préparation des fontes pour l'affinage, est décrite dans la fabrication du fer. (*Voyez* II[e] Partie, II[e] section, page 36.)

TRAITEMENT DES MINERAIS SULFUREUX ET PHOSPHOREUX.

Les minerais sulfureux et phosphoreux donnent généralement des fontes liquides, et prennent parfaitement toutes les empreintes des moules; mais ces fontes ont très peu de tenacité, et ne produisent par l'affinage que des fers cassans à froid ou à chaud. (*Voyez* II[e] Partie, page 54.) Il est donc nécessaire de les améliorer, quelque usage qu'on veuille en faire, et c'est par la préparation et le traitement des minerais qu'on peut le mieux parvenir à ce but.

Les minerais sulfureux doivent être grillés avec soin, et arrosés d'eau à plusieurs reprises après les avoir exposés chaque fois à l'air. En les mélangeant avec d'autres, on peut en atténuer, mais non en neutraliser les défauts.

Si une partie du minerai contient du gypse (sulfate de chaux, plâtre), ou du spath pesant (sulfate de baryte), il est presque impossible de corriger la fonte; il faut alors séparer ce minerai par un triage à la main, le boccarder, le griller, *en y ajoutant beaucoup de fraisil,* l'arroser d'eau, le répandre sur une surface inclinée, et l'exposer pendant plusieurs années à l'influence atmosphérique pour en dégager les sulfures. On ne peut soumettre à une telle préparation que les minerais dont la grande richesse offre le dédommagement de ces opérations longues et dispendieuses.

Les minerais phosphoreux, tels que certains minerais terreux limoneux, doivent être préparés par le lavage, afin d'en détacher le sable adhérent; ensuite on les sèche à l'air, et on les passe au crible avant de les livrer au haut-fourneau. Il en est qui ont besoin d'être grillés, bien que cette opération n'enlève pas l'acide phosphorique, afin d'en diminuer la cohésion; on les boccarde, et on les expose long-temps à l'action de l'air, quand ils renferment de l'acide carbonique et des pyrites.

Les deux espèces de minerais doivent être fondus à une température assez

élevée pour en tirer de la fonte grise, parce que cette nature de fonte convient mieux, et au moulage, et aux opérations d'affinage nécessaires pour l'épurer. On doit de préférence les traiter au charbon de bois; mais on peut aussi les traiter au coke, en ajoutant une grande quantité de castine, ainsi qu'on le pratique en Angleterre. L'excès de castine fait passer dans les laitiers une partie au moins de soufre et de phosphore, et améliore la fonte pour la production du fer.

TRAITEMENT DES SCORIES.

Les scories provenant de la fabrication du fer sont un mélange ou plutôt une combinaison d'oxidule de fer et de matières vitrifiées dans lesquelles domine toujours la silice. Ces scories contiennent de 45 à 85 pour 100 d'oxide de fer, selon leur provenance, et sont, par conséquent, de véritables minerais riches. Aussi a-t-on déjà fait un grand nombre d'essais pour les traiter de diverses manières; mais on a obtenu peu de succès, à cause de la grande fusibilité de ces matières et de l'énergie avec laquelle l'oxigène est retenu dans les oxides passés à l'état vitreux.

Ces deux causes présentent le plus grand obstacle à la réduction des scories dans les bas-foyers ou feux de forge, et, non seulement on n'y obtient qu'une très petite quantité de fer, mais encore ce fer est de mauvaise qualité, et la consommation de combustible est énorme.

Le traitement des scories, dans les hauts-fourneaux, est à la fois plus facile et plus avantageux pour le rendement; mais les conditions essentielles à remplir, pour obtenir un bon résultat, sont d'y ajouter une forte quantité de minerai, assez de calcaire, ou mieux de marne, pour rendre le mélange peu fusible, et de n'employer qu'un vent faible. On voit qu'il en est de ces matières comme des fers siliceux purs qui, quoique très fusibles également, se réduisent très mal sans une forte addition de fondans.

Les scories peuvent être mêlées au minerai en proportion d'autant plus grande qu'elles sont plus riches; mais elles doivent être ajoutées avec beaucoup de précautions, parce qu'en trop fortes doses elles traversent le combustible, tombent dans le creuset avant d'être réduites, blanchissent la fonte et la rendent fragile. Lorsque leur réduction s'opère bien, on n'obtient même généralement que de la fonte truitée ou blanche; mais il résulte cependant d'essais en grand faits par M. Strom, que, par un mélange convenable de minerais, de fondans et de scories, on peut réduire ces dernières complétement et obtenir de la fonte grise.

Il est à regretter que ces essais n'aient pas été publiés avec tous les détails convenables ; mais pour offrir quelques données à ce sujet, on va rapporter les expériences faites par M. Walter dans le fourneau à coke de Vienne (Isère), en octobre 1824.

Les scories employées provenaient en majeure partie des fineries de la forge de Terrenoire (Loire) ; mais elles étaient mélangées de scories du marteau et du laminoir dégrossisseur. Elles avaient séjourné depuis deux ans environ à l'usine, et quelques parties s'étaient délitées par l'action de l'air et de l'eau ; mais dans les morceaux non décomposés, la cassure n'offrait aucune différence avec celle des scories fraiches.

Le fourneau s'étant fortement engorgé par suite d'une très grande humidité des matières premières, le 16 au matin on commença à ajouter un peu de scories aux charges, et l'on accrut ces additions successivement pendant sept jours consécutifs pour connaître leur effet sur la qualité de la fonte. Les minerais employés étaient un mélange de diverses qualités d'oxide rouge de Lavoulte (Ardèche), rendant en moyenne 42 pour 100 de fonte ; les scories étaient concassées en petits fragmens, auxquels on mélangeait la menuaille ; la pression du vent était de 94 millimètres de mercure au ventimètre, et la quantité d'air lancée dans le fourneau d'environ 1,800 pieds cubes par minute.

Le tableau suivant indique la progression des charges, et les produits correspondans comptés 60 heures après le commencement et la fin des essais, ce temps étant la période à peu près nécessaire pour épuiser les matières que l'on a introduites dans le fourneau.

N°s.	Minerai.	Scories.	Castine.	Produits correspondans.	
	kil.	kil.	kil.	kil.	
1	2,812	700	1,250	1,730	Fonte blanche grenue.
2	4,364	1,316	2,350	2,876	Fonte truitée blanche.
3	4,600	1,848	2,250	3,646	Fonte truitée grise claire, moirée et cassante.
4	4,725	2,260	2,464	3,756	*Idem*.
5	4,800	3,864	2,300	4,881	Une coulée truitée grise, l'autre truitée blanche.
6	5,342	5,264	2,350	5,090	Fonte blanche très cassante.
7	5,775	5,376	2,400	5,702	*Idem*.
Totaux.	32,418	20,628	15,364	27,681	

Le produit total des matières ferrifères a donc été de 52,19 pour 100, et en déduisant le produit du minerai compté à 42 pour 100, on trouve que le produit moyen des scories a été de 68,19 pour 100.

Le nombre de charges, dans cet essai, était de 44 à 48 par 24 heures, tandis qu'en bon roulement sans scories, on en passait de 46 à 50 dans le même temps.

Le nombre total de charges a été de 302, et l'on a brûlé 62,816 kil. de coke compacte et de médiocre qualité.

Il est à remarquer que le fourneau a été pris en fonte blanche grenue, et que dès que l'effet des scories a pu commencer à se faire sentir, la fonte est devenue truitée blanche, puis truitée grise; on a observé les mêmes effets chaque fois que les scories ont été employées accidentellement, même dans les proportions de $\frac{1}{8}$ à $\frac{1}{10}$, pendant les campagnes suivantes, mais la cassure de cette fonte a constamment présenté l'aspect d'un moiré métallique, dont le fond gris était parsemé d'une infinité de paillettes blanches, et n'avait presque pas de tenacité. Les laitiers qui l'accompagnaient étaient, du reste, assez beaux, vitreux et colorés en gris, bleu et brun.

Il paraîtrait, d'après ces résultats, que l'on pourrait en effet obtenir de la fonte grise avec les scories, ainsi que l'a indiqué M. Strom; mais il est probable que cette fonte serait d'une qualité très médiocre.

L'emploi d'une forte quantité de scories n'a produit qu'une fonte blanche très cassante et n'offrant dans sa fracture que des lamelles extrêmement petites.

Les fontes provenant de cet essai, traitées séparément aux forges de Terrenoire, ont donné un déchet moyen de 43 pour 100, et n'ont produit qu'un fer cassant à froid, se soudant difficilement et se forgeant mal.

Il est présumable que les scories des fours à puddler et à réchauffer, et surtout celles du marteau et du dégrossisseur, auraient donné de meilleurs résultats, mais les besoins de l'usine n'ont jamais permis d'en faire l'essai.

C'est principalement sur les scories des forges au charbon de bois qu'il pourrait être important de fixer son attention, et les essais faits en Suède et en Sibérie annoncent la possibilité d'en tirer un assez bon parti en les traitant dans les fourneaux au charbon de bois de peu d'élévation. Toutefois il serait inutile de faire des tentatives sur les scories provenant de fontes phosphoreuses, si la nouvelle fonte devait être convertie en fer, mais si on réussissait à l'obtenir parfaitement grise, on pourrait l'employer pour les objets moulés qui n'ont pas besoin d'une grande résistance.

SECTION IX.

DES ÉTATS ET NOTES A TENIR SUR LE ROULEMENT DES HAUTS-FOURNEAUX.

Il est indispensable qu'un directeur d'usine recueille toutes les observations et les renseignemens qui peuvent le guider dans la marche de ses travaux, et il doit tenir toutes les notes qui concourent à ce but.

Ces notes sont de deux sortes :

1°. Un état de roulement.

2°. Un journal de roulement.

1°. L'*État de roulement* n'est autre chose qu'une situation journalière des opérations et des circonstances qui les accompagnent. D'une coulée à l'autre, on y rapporte la consommation du fourneau en matières premières, le poids de produits et les diverses observations qui ont été faites.

Il doit indiquer :

1°. La date et les heures des coulées.

2°. Le nombre des charges.

3°. Le nombre de mesures de charbon.

4°. Le nombre de mesures et les poids de chaque espèce de minerai.

5°. Le total des mesures et des poids des minerais.

6°. Le nombre de mesures et le poids des fondans.

7°. Le produit journalier indiquant la fonte en gueuse et sa nature; les moulages et les pièces manquées, boccages ou jets de fonte auxquels ils donnent lieu.

8°. La couleur des laitiers.

9°. L'état des tuyères.

10°. La pression du vent, le nombre moyen de coups de pistons de la machine soufflante, et le diamètre des buses, afin de pouvoir calculer au besoin la quantité de vent reçu par le fourneau.

11°. L'indication de l'emploi de l'air chaud ou froid, en indiquant la température de l'air chaud par le métal qu'elle peut mettre en fusion près des boites à vent. On se sert à cet effet d'étain qui fond à environ 212 degrés centigrades, de plomb qui fond de 320 à 325°, et de zinc dont la fusion a lieu à 370°.

12°. Des observations sur la hauteur du baromètre, sur celle du thermomètre et sur l'état de l'atmosphère.

13°. Des observations sur la nature des matières premières et des produits, de même que sur les accidens survenus pendant le travail, en indiquant sommairement leurs causes.

(*Janvier* 1837.) **ROULEMENT**

DATES.	HEURES des coulées.		CHARGES PAR COULÉE.	CONSOMMATIONS.														
				CHARBON ou COKE.		MINES EN ROCHE.						MINES EN GRAINS				TOTAL des MINERAIS.		CASTI[NE]
						HÉMATITE COMPACTE.		OXIDÉ ROUGE.		CARBONATÉ.		DE AUTREY.		DE FONTAINE.				
	Matin.	Soir.		Rasses ou cuveaux.	Poids.	Couches.	Poids.	Couches.	Poids.	Couches.	Poids.	Couches.	Poids.	Couches.	Poids.	Couches.	Poids.	Couches.
1	6	..	21	168	kil. 26	21	kil. 28	42	kil. 25	63	kil. 21	....	....	....	....	126	kil. 2,961	21
»	...	6	23	184	....	23	....	46	....	69	....	....	....	....	....	138	3,243	34
2	9	...	34	272	....	51	....	68	....	68	....	....	....	....	....	187	4,556	76
»	...	10	20	160	....	30	....	40	....	40	....	....	....	....	....	110	2,680	30

Observations. 1re *coulée.* Arrêté une demi-heure pour changer une tuyère. — 2e *coulée.* Minerais humides. Foute cassante. — 3e

Nota. On n'inscrit que le poids moyen des mesures de combustible et minerais, et il suffit de prendre ce poids
l'air froid.

Récapitulation.

Nombre des coulées, 62.
Nombre des charges, 1,364.
Produit total, 124,000 kil.

Consommation.

Charbon, 10,912 rasses, ce qui, à 25 kil., poids moyen de la rasse, fait 272,800 kil.

Minerais, 12,302 couches, pesant 294,248 kilog.

A la fin de chaque mois, l'état doit être arrêté et terminé par une récapitulation présentant les résultats du roulement.

La disposition d'un état de roulement n'étant pas indifférente pour qu'on puisse y trouver facilement, et dans l'ordre convenable, les renseignemens dont on a besoin, nous joignons ici un tableau qui peut servir de modèle.

AUT-FOURNEAU N° 1.

PRODUITS.				QUALITÉ de LA FONTE.	COULEURS des LAITIERS.	ÉTAT des TUYÈRES.	SOUFFLERIE.					HAUTEUR DU BAROMÈTRE.	HAUTEUR DU THERMOMÈTRE CENTIGRADE.	ÉTAT DE L'ATMOSPHÈRE.
GUEUSE ET BOCCAGES.	MOULAGES Sur chantier.	MOULAGES En châssis.	TOTAL DES PRODUITS.				PRESSION DU VENT.	COUPS DE PISTON PAR MINUTE.	DIAMÈTRE DES BUSES.	AIR FROID.	AIR CHAUD.			
							mill.		cent.			mill.	deg.	
980	220	50	1,250	Blanche.......	Brun et noir..	Sombres..	85	17	4	....	Étain..	754	4	Pluie..
1,500	.....	.....	1,500	Truitée blanche.	Brun et bleu.	Claires...	90	18	»	....	Plomb.	760	—1	Neige...
2,000	.....	200	2,220	Grise claire.....	Gris et bleu..	Brillantes.	»	»	»	....	.....	»	—4	Vent fr.
708	412	.....	1,120	Grise..........	Vert et bleu..	....	92	19	»	c	.....	758	—2	Brum...

pppareil à air chaud dégradé. — 4e *coulée*. Fonte tenace. Arrêté une heure et demie pour changement de dame.

s quatre ou cinq jours pour établir les poids totaux. La lettre *c*, ou toute autre, indique le commencement de l'emploi de

Rapport des consommations et produits.

Pour 100 kil. de fonte, on a consommé 220 kil. de charbon.

Rendement moyen du minerai, 42 p. 100.

Produit moyen par coulée, 2,000 kil.

Produit moyen par charge, 91k64.

Cette dernière indication sert à régler les coulées d'après la capacité connue du creuset, ou selon la quantité de fonte dont on peut avoir besoin. Elle sert aussi à guider le fondeur pour le nombre de gueusets ou la grandeur des gueuses, dont il faut préparer les moules dans le sable du chantier.

Un registre de roulement, tenu avec exactitude, peut donner au maître

(*Année* 1837.) **ROULEMENT DU**

MOIS.	MINERAIS ET FONDANS.					COKE ou CHARBON.	FONTE PRODUITE.		
	HÉMATITE et OXIDÉ.	CARBONATÉ.	EN GRAINS.	TOTAL.	CASTINE.		BRUTE.	MOULAGES.	TOTAL.
	kil.								
Janvier.....	190,912	57,988	29,056	277,956	89,914	309,200	105,594	11,301	116,895
Février.....	174,075	32,800	74,675	281,250	123,750	337,000	99,744	25,738	125,482

2°. *Journal de roulement.* Les états précédens, ne contenant que le chiffre des opérations et des observations très sommaires, laissent les faits isolés entre eux. Il faut ensuite, pour bien juger de la marche du fourneau, les réunir, les comparer, pour en déduire les moyens les plus propres à assurer une marche régulière et avantageuse. Tel est l'objet du *Journal de roulement.*

Ce journal doit commencer avec la mise à feu, et relater les dimensions des diverses parties du fourneau. Il est bien de joindre quelques croquis à ces notes pour en faciliter l'intelligence.

Lors de la mise en feu, il faut noter, jour par jour, toutes les opérations,

des forges les renseignemens les plus positifs sur la marche de ses opérations, les rend comparatives entre elles, et le met à même de juger s'il travaille avec le plus de bénéfice possible; mais, pour rendre les comparaisons plus faciles, il est avantageux de faire un état récapitulatif, mois par mois, dans lequel on peut faire entrer, en outre, les dépenses spéciales et toutes les indications diverses dont on peut avoir besoin, ainsi qu'il suit :

AUT-FOURNEAU N°

PROPORTIONS.			DÉPENSE EN MAIN-D'ŒUVRE ET FRAIS DIVERS.			MAIN-D'ŒUVRE ET FRAIS DIVERS par 100 kil. de fonte.	OBSERVATIONS.
E COKE OUR 100 E FONTE.	DE CASTINE pour 100 DE FONTE.	DE FONTE pour 100 DE MINERAI.	MAIN-D'ŒUVRE.	FRAIS DIVERS.	TOTAL.		
			fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	
265	77	42	1,026 20	33 20	1,059 40	0 95	
269	98,7	44,5	1,100 35	4 70	1,105 15	0 88	

le nombre de grilles, le nombre de charges, leur accroissement successif, de même que celui du vent et de l'orifice des buses. Une fois le fourneau en roulement, il faut rapporter sur le journal toutes les observations principales, les accidens survenus, leur influence sur la marche du fourneau; indiquer les causes présumées des dérangemens et leur nature, les moyens employés pour les faire cesser, les résultats obtenus avec tels minerais ou fondans, avec tels mélanges; la composition des charges qui ont donné les produits les plus avantageux pour la quantité ou la qualité, le maximum de charge auquel on est parvenu, les causes qui en ont éloigné, etc.; indiquer les diverses pressions de vent employées, celles qui ont produit le

meilleur effet, c'est-à-dire qui ont conduit à une marche plus régulière; mentionner le diamètre des buses employées dans les diverses périodes du fondage, et, parmi les circonstances qui en ont nécessité le changement, relater spécialement l'élargissement du fourneau, les progrès ou les variations de cet élargissement, et leur influence sur la marche du travail et sur la nature des produits.

Rapporter les observations faites sur les effets de l'air chaud, selon sa température, et particulièrement sur l'influence de son emploi aux diverses périodes du fondage, eu égard à la qualité et à la quantité de fonte produite, ainsi qu'à la consommation de combustible.

Noter avec soin tous changemens survenus dans la qualité des matières premières et les résultats qu'ils ont amenés; ne pas omettre les observations sur les couleurs et la consistance des laitiers, en les liant toujours à la qualité de la fonte produite. Déduire des observations consignées dans l'état de roulement l'influence que les phénomènes météorologiques exercent sur la marche du fourneau; indiquer les moyens employés pour obvier aux dérangemens qu'ils auraient pu produire, et les résultats obtenus.

On doit suivre ainsi les opérations jusqu'à la *mise hors;* noter toutes les circonstances qu'elle présente, les dimensions relevées des diverses parties du fourneau, et les comparer aux dimensions primitives, pour juger s'il est nécessaire de les changer. Le meilleur moyen de faire cette comparaison est de rapporter l'un sur l'autre les profils semblables, pris au commencement et à la fin de la campagne.

On indiquera quelles parties du fourneau il a fallu reconstruire ou seulement réparer, et de quelle manière on a procédé à ces travaux, en mentionnant les défauts de construction que l'on aurait remarqués, et comment on a cru pouvoir les éviter, etc.

De tels renseignemens, recueillis avec discernement, sont précieux, et en comparant entre eux les journaux de deux ou trois campagnes, au plus, on arrive d'une manière certaine aux meilleures dimensions d'un fourneau et à la marche la plus avantageuse.

Afin de faciliter ces comparaisons, soit de mois à mois, soit d'année à année, il est bon de faire chaque mois la récapitulation des faits et des résultats principaux.

SECTION X.

DES MACHINES SOUFFLANTES.

On a vu (section II, page 60 à 64) qu'il est nécessaire que la combustion, dans les hauts-fourneaux, soit entretenue par un courant d'air plus ou moins considérable et plus ou moins comprimé, selon la quantité et la nature des combustibles employés. Cet air est recueilli, comprimé et lancé dans les fourneaux, au moyen d'appareils que l'on nomme *machines soufflantes*.

Les divers appareils qui peuvent être employés pour produire ces effets sont les soufflets en cuir et en bois; les trompes, les soufflets hydrauliques comprenant les caisses plongeantes, les soufflets à tonneaux et la vis d'Archimède; les ventilateurs, et enfin les machines à piston. Ces dernières sont réellement les seules qui satisfassent aux diverses conditions d'une bonne machine soufflante pour les hauts fourneaux et les forges; leur emploi devient de jour en jour plus général, et elles sont, par ces motifs, les seules dont on s'occupera avec détails. On se bornera pour les autres à faire connaître les inconvéniens qui s'opposent à leur usage ou le restreignent à quelques cas particuliers.

Les *soufflets en cuir*, qu'ils soient à simple, à double ou à triple compartiment, ont l'inconvénient que les cuirs occasionnent beaucoup d'entretien, se sèchent et se fendent. Une assez grande partie de l'air, ne pouvant en être expulsée, ils produisent peu d'effet, à moins que leurs dimensions ne soient très grandes; mais alors ils deviennent trop dispendieux, exigent beaucoup d'emplaceme t sous la forme ordinaire, et d'autant plus que, ne produisant pas un vent continu, même lorsqu'ils sont doubles, il faut en employer au moins deux à la fois pour avoir un jet d'air régulier; enfin ils ne peuvent jamais fournir l'air que sous une faible pression. Par tous ces motifs, les soufflets en cuir ne peuvent guère servir que pour les *forges de maréchal*, les chaufferies et les petits fourneaux de réduction.

Pour diminuer l'emplacement nécessaire aux soufflets en cuir, au lieu de leur donner la forme d'un trapèze, on les fait à bases cylindriques qui se rapprochent et s'éloignent alternativement. Tels sont ceux de l'usine de

Vaux, près de Liége, où deux soufflets de ce genre activent une chaufferie alimentée avec de la houille. Tout récemment, M. Paillette, ingénieur des mines, a apporté à ces soufflets des améliorations qui en rendent le jet continu comme dans les soufflets à triple compartiment, dits soufflets Rabier; mais les autres inconvéniens subsistent toujours.

Les *soufflets en bois*, bien construits, ont déjà produit une amélioration sensible dans les travaux métallurgiques par les grandes dimensions que l'on peut leur donner; mais on les abandonne depuis l'introduction des machines à piston, 1°. parce qu'ils occupent beaucoup de place dans l'usine lorsqu'ils doivent fournir une grande quantité d'air, et qu'il en faut souvent trois ou quatre pour alimenter un petit haut-fourneau ou des feux de forges; 2°. parce que le frottement occasionné par les liteaux intérieurs est très considérable; 3°. parce qu'ils ne peuvent expirer qu'une partie de l'air qu'ils renferment, et qu'ils en perdent au travers des liteaux; 4°. parce que l'air ne peut y être que faiblement comprimé; 5°. parce que leur construction et leur entretien sont plus dispendieux que pour les soufflets en bois à piston, et que leur effet est bien moindre.

Les *trompes* sont un genre de machines soufflantes construites d'après des principes tous différens de ceux des autres appareils; elles sont appliquées spécialement aux forges catalanes, où le fer est fabriqué en une seule opération, et par cette raison leur description est renvoyée à la seconde partie de cet ouvrage. (*Voyez* IIe Partie, section Ire, page 6.)

Les *soufflets hydrauliques à caisse plongeante* consistent en une caisse ouverte et renversée, qui se meut verticalement dans une fosse contenant de l'eau, en s'abaissant jusqu'à ce que son fond parvienne à peu près au niveau du liquide renfermé intérieurement. En descendant, elle refoule l'air contre la surface de l'eau, et le force à s'échapper par une soupape qui dépasse le niveau du liquide; en remontant, l'air atmosphérique pénètre dans l'intérieur par une autre soupape; comprimé de nouveau, il s'échappe par la première, et ainsi de suite. On comprendra facilement ce mécanisme après avoir pris connaissance de celui des machines à piston.

Cet appareil, qui attira d'abord l'attention par sa simplicité, ne pourrait fournir une grande quantité de vent sous une forte pression, et malgré les améliorations qui y ont été apportées par M. Baader, il n'en reste pas moins au rang des machines soufflantes médiocres.

Les *soufflets à tonneaux*, dont on doit une description fort exacte à M. d'Aubuisson, ingénieur en chef des mines, sont très simples, faciles à

confectionner et peu dispendieux d'entretien; mais ils ne peuvent fournir qu'un air très peu comprimé, et servir au plus pour des feux de chaufferie ou pour de petits feux d'affinerie.

La *vis d'Archimède*, inclinée sous une nappe d'eau, de manière que son orifice supérieur n'y soit qu'à moitié engagé, et tournée dans le sens opposé à celui dans lequel l'eau s'y élève, peut aussi servir de machine soufflante, en recueillant l'air qui s'échappe par son orifice inférieur. Cette idée a reçu son exécution en Angleterre, et M. André Kœchlin de Mulhausen a importé en France une machine de ce genre. Elle fonctionne dans ses ateliers, et fournit environ 33 mètres cubes d'air par minute sous une pression de $\frac{1}{2}$ livre par pouce carré; elle alimente deux fourneaux à la Wilkinson et 10 feux de forge maréchale. Cette machine pourrait alimenter un fourneau au charbon de bois de moyenne grandeur; mais son usage serait toujours très restreint à cause de la faible pression qu'on peut en obtenir.

Les *ventilateurs* sont de très bonnes machines soufflantes pour les forges de maréchal et les fourneaux à la Wilkinson; ils seraient même applicables a des fourneaux au charbon de bois par le volume d'air qu'ils peuvent fournir; mais comme ils ne le compriment qu'à un faible degré, leur usage serait peu étendu, et jusqu'à présent n'a pas été adopté.

MACHINES SOUFFLANTES A PISTON.

Les machines soufflantes ou soufflets à piston s'exécutent en bois ou en métal. Dans le premier cas, la caisse du soufflet est ordinairement de forme carrée; dans le second, cette caisse est un cylindre en fonte, et le piston qui se meut dans son intérieur est de même matière.

SOUFFLETS EN BOIS.

Les parties principales d'un soufflet en bois sont : une *caisse carrée* NN, Pl. 23, *fig.* 1 à 6, qui doit être placée de préférence l'ouverture en dessous, afin que la poussière et les corps qui pourraient gêner le mouvement du piston ne puissent s'y introduire; un *piston* P, dont le pourtour s'applique le plus exactement possible contre les parois de la caisse; des soupapes d'*aspiration* ou d'entrée de l'air *s*, *fig.* 6, placées sur le piston; des soupapes d'*expiration* ou de sortie de l'air *s'*, *fig.* 3, placées sur le fond de la caisse; enfin, un récipient UU, *fig.* 1, 3, 5 et 6, que l'on nomme *caisse*

ou *réservoir d'air,* qui reçoit le vent d'un ou plusieurs soufflets, et qui s'ajuste parfaitement sur le fond des caisses.

On nomme soufflets *en dessous* ou *allant en dessous,* ceux que l'on vient de décrire, et soufflets *en dessus* ceux dans lesquels la caisse repose sur son fond.

Au piston s'adapte une tige en bois T, assemblée invariablement et maintenue verticalement entre les guides. Cette tige est poussée par des cames simples ou doubles CC, pour faire élever le piston, et ce dernier descend par son propre poids.

La disposition de machine représentée par la Pl. 23 est à la fois une des plus commodes par le peu d'espace qu'elle exige, des plus simples et des plus solides dans sa construction, enfin des plus avantageuses par la régularité et la verticalité du mouvement des pistons. Les figures et leur description indiquent, avec tous les détails nécessaires, les diverses parties de ces soufflets.

Voici le jeu de la machine : le piston étant à sa position supérieure, comme l'indique la *fig.* 3 ; lorsqu'il s'abaisse, l'air entre dans la caisse NN, *fig.* 6, par les soupapes d'aspiration *s;* lorsqu'il remonte, cette soupape se ferme par son propre poids, et l'air se trouvant comprimé entre le piston et le fond de la caisse, fait ouvrir la soupape d'expiration *s'*, *fig.* 3, et se rend dans la caisse d'air UU. Le piston descendant de nouveau, la soupape *s'* se ferme, et les mêmes effets se reproduisent. Le vent s'échappe de la caisse d'air par un tuyau V, *fig.* 1 et 5, qui le conduit jusqu'aux foyers. On nomme *levée, volée* ou *course* du piston, le chemin qu'il parcourt en refoulant l'air.

Caisses. Les caisses, pistons et soupapes des soufflets doivent être faits avec des bois parfaitement secs, afin qu'ils ne se voilent et ne se fendent pas.

L'extérieur des caisses de soufflets se compose de madriers de 45 à 50 millimètres d'épaisseur, en bois quelconque, placés de champ et bien assemblés, à rainures et languettes. Le pourtour intérieur est doublé en bois dur et susceptible d'un certain poli, tel que le poirier ou le pommier sauvage, ou encore en bois tendres dont les fibres se séparent difficilement, tels que le peuplier, le tilleul et l'aulne. Dans tous les cas, les fibres de bois de doublure doivent être verticales, pour rendre plus doux le frottement du piston. Quelquefois, ainsi que cela se pratique en Russie, on double les caisses en feuilles de plomb ; mais alors les surfaces ne peuvent être jamais

aussi bien dressées que lorsqu'on emploie le bois. Dans quelques usines on trouve des caisses en marbre, et ce sont celles qui offrent le plus d'avantages sous le rapport de l'effet et de la durée des machines.

On fait aussi des caisses cylindriques pour les soufflets en bois; mais on en rencontre rarement, parce qu'elles sont plus difficiles à construire que les caisses carrées, et qu'à moins de les aléser elles ne peuvent avoir la même précision.

Pour adoucir les frottemens contre les parois, il est avantageux de peindre celles-ci, à deux ou trois couches, avec une couleur composée d'huile de lin siccative et de plombagine en poudre impalpable. Lorsque la couleur est bien sèche, on ponce légèrement les surfaces, et on les polit avec de la plombagine sèche.

Les caisses doivent être montées sur un bâti très solide, et y être attachées d'une manière invariable.

Pistons. Les pistons se font en madriers croisés ou assemblés sur de fortes traverses. Pour fermer le passage à l'air le long des parois des caisses, on emploie généralement des liteaux *ll*, Pl. 24, *fig.* 1 et 2, LL, *fig.* 3 et 4, poussés par des ressorts *r*, *r*. Le bois de ces liteaux doit être dur et à fibres très serrées. Comme c'est toujours dans les angles qu'il est le plus difficile d'empêcher les fuites d'air, il faut éviter d'y former l'assemblage des liteaux, et sous ce rapport la disposition représentée par la *fig.* 12 est d'autant plus avantageuse, que toutes les pièces joignent et ferment également, quel que soit leur degré d'usé, tant que les ressorts peuvent agir avec une force suffisante. Du reste, quelque soin que l'on mette dans la confection des liteaux, ils laissent toujours échapper une certaine quantité de vent, et produisent un frottement considérable. On a essayé de les remplacer par une garniture en cuir rembourrée de laine et de crin; mais bientôt cette garniture perd son élasticité et laisse échapper autant d'air que les liteaux.

Voici un nouveau genre de garniture employée avec succès par M. Walter. Sur des tasseaux *t*, *t*, *fig.* 19 à 22, cloués de distance en distance sur le plateau du piston, sont posés des liteaux mobiles et sans ressorts *l*, *l*, retenus en dessus par des brides en fer *b*, *b*, qui leur laissent le jeu nécessaire. A ces liteaux, et sur les bords du plateau, sont clouées des bandes de cuir fort, mais assez souple (cuir à la Jusée), lesquelles s'appliquent contre les parois de la caisse. Lorsque le piston comprime l'air, ce dernier entrant dans l'espace compris entre les cuirs, les liteaux et le plateau, presse la

garniture contre les parois avec d'autant plus de force, qu'il est plus comprimé, et fait ainsi office de ressorts pour empêcher les fuites. Cette garniture a l'avantage de se prêter aux irrégularités de la surface des caisses et de ne pas l'endommager, de ne pas occasionner de frottement sensible pendant l'aspiration de l'air, de ne produire que le plus petit frottement possible pendant le refoulement; mais elle ne peut cependant empêcher entièrement les pertes d'air dans les angles. Il faut avoir soin de rendre le glissement des liteaux aussi facile que possible, en dressant bien les tasseaux et les enduisant de plombagine.

Pour les caisses cylindriques, les liteaux seraient trop difficiles à bien faire, et l'on emploie avec plus d'avantage les garnitures de cuir, à l'imitation des machines soufflantes à cylindre en fonte. Elles se composent de bandes de cuir *cc, fig.* 8, à bord relevé, et s'appliquant contre la caisse. Ces bandes sont clouées sur des liteaux L, L, *fig.* 8 et 9, que l'on fait avancer au besoin par le moyen de vis *v* et de coins G; les liteaux et les bandes sont retenus dans leur position par des segmens en bois HH, boulonnés sur le corps du piston. Ce système de garniture est *autoclave* ou fermant par la pression du fluide comme le précédent, et c'est jusqu'à présent le meilleur que l'on ait trouvé; il est à regretter que la forme carrée ne se prête pas à son emploi.

Quelquefois on place les soupapes d'aspiration sur le fond des caisses, et alors les pistons sont pleins, comme ceux que représentent les *fig* 12 à 14 et 19 à 21, Pl. 24.

Soupapes. Dans les soufflets en bois, on n'emploie ordinairement que les soupapes à charnière ou *clapets.* On les fait en bois et on les garnit d'un cuir fort *cc, fig.* 17 et 18, Pl. 23, qui le plus souvent sert de charnière. On ne doit leur donner que le poids strictement nécessaire pour qu'elles retombent bien, et ne leur faire recouvrir l'ouverture de la soupape que d'environ 2 centimètres. La fermeture est opérée par le cuir dont le bord est comprimé par l'air, et pour la rendre plus exacte, on double souvent le cuir d'une peau de mouton dont la laine s'applique sur les bords de l'orifice.

Soufflets à simple ou double effet. Dans le genre de machines que l'on vient de décrire, l'effet est *simple,* c'est-à-dire que l'air n'est refoulé que par un seul côté du piston; mais il y a des machines en bois qui, comme celles en fonte, sont à *double effet* ou produisent du vent, soit que le piston monte, soit qu'il descende. Elles sont dispendieuses par l'ajustage qu'elles

exigent et dont on se rendra facilement compte lorsqu'on connaîtra les machines en fonte, d'un entretien d'autant plus coûteux, que le nombre de caisses est plus grand, ne sont pas d'un meilleur usage que les machines simples, et coûtent, en définitive, presqu'autant qu'une soufflerie en fonte de même effet, qui, en outre, a l'avantage de consommer moins de force et d'avoir une durée presque indéfinie.

Disposition des cames. Deux soufflets à simple, et même à double effet, ne pourraient produire un vent continu, si la marche des pistons était réglée de manière que l'un arrivât au bas de sa course, en même temps que l'autre achèverait sa course ascendante. On évite l'intermittence, en disposant les cames et réglant leur forme de telle sorte que l'un des pistons continue d'agir jusqu'à ce que l'autre commence à comprimer l'air suffisamment pour le chasser de sa caisse. La *fig.* 8, Pl. 23, indique la disposition convenable pour les cames, et la description de cette planche en fera connaître le tracé.

Au moyen de trois caisses et de cames tiercées sur l'arbre de rotation, on obtient toujours un vent continu; mais on augmente à la fois les dépenses d'installation et les frais d'entretien.

Mouvement des soufflets en bois. Le moteur des souffleries en bois est toujours une roue hydraulique, bien qu'on puisse leur appliquer aussi une machine à vapeur; mais le premier est plus simple, moins dispendieux, d'un entretien plus facile; il simplifie les communications de mouvement, et il est enfin plus en harmonie avec le genre de construction de la machine soufflante.

Les transmissions de mouvement s'exécutent ordinairement en bois pour les engrenages, comme l'indique la Pl. 23; mais les cames doivent être faites en fonte, afin d'être plus solides et de mieux conserver leur forme.

Afin d'éviter le plus possible les chocs des cames, on donne peu de vitesse aux pistons, et dans beaucoup de machines elle n'est que de 12 à 15 centimètres par secondes; mais il n'y a aucun inconvénient à porter cette vitesse jusqu'à 25 et même 30 centimètres.

Dans les machines à double effet, le mouvement des pistons ne peut plus s'effectuer par des cames; il faut employer des moyens analogues à ceux qu'on applique aux souffleries en fonte, et alors la vitesse du piston peut se régler comme dans ces dernières.

MACHINES SOUFFLANTES EN FONTE.

Les machines soufflantes en fonte se font toujours à double effet, afin d'en tirer le meilleur parti possible et d'en obtenir plus de régularité.

Le cylindre CC, *fig.* 1, Pl. 26, doit être alésé, c'est-à-dire tourné intérieurement à un diamètre parfaitement uniforme; il est fermé, haut et bas, par un couvercle et un fond en fonte, dans lesquelles sont reservées des ouvertures *o, o'*, pour l'entrée et la sortie de l'air. Le piston, également en fonte, est monté sur une tige tournée en fer T, qui passe dans une boîte à étoupe ou *stuffing box* GG', dont la garniture ferme toute issue à l'air le long de la tige. Au fond et au couvercle sont adaptées des boîtes BB, B'B', dans lesquelles sont placées des soupapes d'aspiration S, *s* et des soupapes d'expiration ou de retenue S', *s'*; à ces boîtes aboutissent des tuyaux DD, D'D', qui se réunissent, et par lesquels l'air se rend dans un réservoir.

Les soupapes d'aspiration ne sont pas toujours dans des boîtes, et elles peuvent être placées sur le fond et le couvercle, comme on le voit en S, *s*, *fig.* 7, ou seulement sur le fond, ainsi que l'indiquent les *fig.* 1 et 2, Pl. 27.

Le jeu de la machine est facile à saisir. Le piston P s'élevant, *fig.* 1, Pl. 26, l'air extérieur presse sur la soupape S, la fait ouvrir, et pénètre sous le piston; pendant ce temps l'air comprimé en dessus ouvre la soupape *s'* et s'échappe par le tuyau D'D'. L'effet inverse a lieu pendant la course descendante, et l'air extérieur est aspiré par la soupape *s'* pendant que l'air comprimé est chassé par la soupape S' dans le tuyau DD.

Formes et dispositions des soupapes. Les soupapes le plus généralement employées sont les soupapes à charnière ou clapets; mais pour les fonds de cylindres, on se sert aussi de soupapes à tige, soit coniques, soit à garniture en cuir. Les soupapes et clapets à garniture en cuir sont préférables aux soupapes coniques, parce qu'elles sont plus économiques, d'un ajustage et d'un entretien plus faciles, et ferment aussi bien. Les garnitures se font ainsi qu'on l'a indiqué pour les soufflets en bois.

Les soupapes sur le fond et sur le couvercle conviennent pour les petites machines, où l'ouverture nécessaire à l'introduction de l'air n'exige pas de grandes dimensions, comme dans les *fig.* 7 et 8, Pl. 26. On peut encore les employer sur le fond lorsque les machines sont très grandes, comme l'indiquent les *fig.* 1 et 2, Pl. 27; mais le grand nombre d'ouvertures qu'elles nécessitent l'exposent à casser.

Les boites à soupapes s'emploient dans les moyennes et grandes machines, afin de ne pas affaiblir le fond et le couvercle par un trop grand nombre d'orifices, et de pouvoir donner à ces orifices les dimensions voulues. On indiquera plus loin quelles doivent être ces dimensions.

Formes, diamètre et garniture des pistons. La forme la plus avantageuse à donner aux pistons en fonte est celle représentée par les *fig.* 1 et 2, Pl. 26, et détaillée *fig.* 10 et 11. Elle se compose d'un disque ou plateau circulaire Q, renforcé par des nervures *n, n*, L, L, et dont le bord présente la forme d'une double gorge II, pour recevoir des garnitures en cuir.

On se sert aussi, mais aujourd'hui très rarement, de la forme représentée par les *fig.* 14 et 15, se composant d'un plateau Q à nervures *nn*, entouré d'un rebord cylindrique II, autour duquel on fait une garniture G en tresses de chanvre.

Le pourtour des pistons, leurs gorges, ainsi que le rebord cylindrique dans la dernière forme, doivent être tournés. Le diamètre extérieur des pistons doit être moindre de 4 à 6 millimètres que le diamètre des cylindres, afin qu'ils ne frottent pas contre les parois de ces derniers.

Les garnitures en cuir se font avec des bandes *cc*, *fig.* 11, coupées circulairement et appliquées dans les gorges I, I; elles sont maintenues par des segmens H, H, en bois ou en fonte, retenus par des boulons; et par la forme des gorges, elles se relèvent en gobelet, et produisent, par leur application contre les parois du cylindre, une fermeture autoclave d'autant meilleure que l'air est plus fortement comprimé.

Les garnitures des pistons à rebord cylindrique, *fig.* 14 et 15, se font en tresses plates de chanvre, ou mieux encore de coton en mèche, dont on enveloppe le rebord, et que l'on comprime au moyen d'un anneau en fer H, maintenu par des pièces en fer *ff*. Ces garnitures s'usent promptement, et laissent alors passer une grande quantité d'air d'un côté à l'autre du piston; les autres sont donc à préférer à tous égards.

On ne doit jamais graisser les garnitures, et pour adoucir les frottemens on se sert de plombagine en poudre fine, que l'on jette dans le cylindre au moment de l'aspiration de l'air.

Espace nuisible. Dans toutes les machines soufflantes à piston, ce dernier ne peut venir s'appliquer contre les fonds, en sorte qu'il reste toujours dans les caisses et cylindres un espace dont l'air ne peut être expulsé. Cet espace diminue d'autant plus l'effet utile de la machine, qu'il est plus grand, parce que l'air qui y est comprimé se dilate dans le mouvement ré-

trograde du piston, et ne permet à l'air extérieur d'entrer dans le soufflet que lorsqu'il est en équilibre de pression avec l'atmosphère. Il oblige, dès lors, pour obtenir le volume réel d'air que l'on veut avoir, à accroître le diamètre des cylindres ou le côté des caisses, ce qui entraîne à une plus grande dépense de force par les frottemens. Ces inconvéniens ont fait donner à l'espace dont il s'agit le nom d'*espace nuisible,* et ils font voir qu'il faut le réduire autant que possible. Dans les machines bien construites, on fait approcher les parties les plus saillantes des pistons jusqu'à 1 centimètre des fonds.

Les pistons en fonte présentent toujours des cavités assez considérables, qui augmentent l'espace nuisible; et il faut les remplir le mieux possible avec du bois léger. Enfin, les boîtes de soupapes ajoutent encore à cet espace, et l'on doit tâcher de les disposer de telle manière que leur volume soit le moindre possible.

Mouvement des souffleries en fonte. Le moteur de ces machines peut être une roue hydraulique, comme l'indique la disposition représentée par les *fig.* 1 et 2, Pl. 25, ou une machine à vapeur à double effet, comme le font voir les *fig.* 4 et 5. Dans le premier cas, on fait usage de roues d'engrenage pour obtenir la vitesse voulue, et la transmission de mouvement à la tige du piston s'opère au moyen d'une manivelle, d'une bielle et d'un balancier. Dans le second cas, la vitesse est réglée par celle de la machine à vapeur, et l'on transmet le mouvement d'une tige à l'autre par un balancier. Dans l'un et l'autre cas, on conserve la verticalité des tiges, à l'aide du parallélogramme de Watt, ou par tout autre moyen équivalent.

La vitesse du piston des machines conduites par roue hydraulique varie entre 0^m75 et 1^m par seconde, et il n'y a aucun inconvénient à atteindre toujours cette dernière. Pour les machines soufflantes à vapeur, la vitesse des pistons n'est presque jamais au-dessous de 0^m90, ni au-dessus de 1^m20 par seconde, en sorte que la vitesse moyenne convenable est encore d'environ 1^m.

Dans toute machine soufflante le jet d'air est faible au commencement de la course du piston, et cet effet a nécessairement lieu, que le mouvement du piston soit régulier ou non ; mais sa durée est d'autant moindre, que le piston peut prendre un mouvement initial plus rapide. L'emploi d'un volant ne présente donc aucun avantage dans les machines soufflantes, et il est du moins complétement inutile lorsque le moteur est une roue hydraulique. On peut s'en passer aussi dans les machines soufflantes à

vapeur, où la distribution de vapeur dépend du mouvement du balancier; mais comme alors elles sont moins simples, on préfère souvent opérer la distribution de vapeur par excentriques, ce qui entraîne l'emploi de la manivelle, et par suite du volant. Il ne faut, dans ce cas, employer qu'un volant suffisant pour assurer la continuité du mouvement de rotation de la manivelle, sans chercher à le régulariser beaucoup.

DES RÉGULATEURS.

A moins qu'on fasse usage de trois soufflets à simple effet, à mouvement tiercé, ou de deux machines à double effet, dont les pistons n'accomplissent pas leurs courses simultanément, on ne peut obtenir un jet d'air continu; et, dans ces cas encore, le jet d'air ne peut avoir une vitesse constante, puisque dans aucun appareil à piston la pression de l'air intérieur n'est uniforme.

Pour obtenir moins de variation dans la vitesse du vent, on le réunit dans des réservoirs de divers genres que l'on nomme *régulateurs*, et desquels l'air s'échappe sous une pression à peu près constante pour se rendre aux buses des foyers.

Les régulateurs sont à capacité variable ou à capacité constante. Dans les premiers, l'air est soumis à la pression d'une colonne d'eau ou d'une paroi mobile chargée d'un poids convenable. Dans les seconds, il est accumulé en quantité considérable, et réagit par sa propre élasticité.

Les régulateurs à capacité variable se divisent en *régulateurs à eau* et en *régulateurs à piston flottant;* ces derniers et les *régulateurs à capacité constante* s'appellent *régulateurs secs*.

Régulateurs à eau. Les régulateurs à eau se composent d'une caisse ouverte, C C, C′ C′, en fonte ou en tôle, *fig.* 1 à 4, Pl. 28, placée l'ouverture en dessous, et fixée solidement dans un bassin en maçonnerie ou dans une autre caisse en fonte, B B, *fig.* 1, 2 et 5, remplie d'eau jusqu'à une certaine hauteur, *m n*. On laisse entre les bords inférieurs de la caisse du régulateur et le fond du bassin un espace, *e e,* qui établit la communication entre les eaux intérieure et extérieure, ou bien les plaques qui forment la caisse portent des échancrures, *e′e′,* pour remplir le même but.

On fait arriver l'air de la machine soufflante dans le régulateur par un tuyau, D, *fig.* 1, 2 et 5; et un autre tuyau, G, lui donne issue pour le conduire aux buses.

Quelquefois on met ces tuyaux en communication immédiate, de telle

sorte que le tuyau d'évacuation, E, se trouve dans le prolongement du tuyau d'entrée, D. Ces tuyaux s'assemblent alors sur un tronçon à tubulures H, par lequel l'air passe dans le régulateur et en sort. Bien que l'on regarde cette disposition comme moins avantageuse que celle à tuyaux séparés, il ne paraît pas cependant qu'elle produise moins de régularité dans le jet d'air, pourvu que les sections du tronçon soient au moins d'un quart plus grandes que celles des tuyaux d'arrivée et de sortie.

Les nappes d'eau étant à même hauteur, *m n*, *fig.* 1, 3 et 5, en dedans et en dehors de la caisse, si l'air chassé des soufflets afflue dans le régulateur, il exerce une pression sur le liquide, le fait abaisser à l'intérieur jusqu'à un certain niveau, *f g*, et élever dans le bassin jusqu'à un niveau, *l h*, qui dépend du volume d'eau déplacé. La différence de niveau, *f l* ou *g h*, *fig.* 5, est alors la hauteur d'une colonne d'eau comprimante qui réagit incessamment sur l'air avec une pression peu variable, et produit ainsi une assez grande régularité dans sa vitesse d'écoulement.

La pression exercée par la colonne extérieure est tout-à-fait indépendante du rapport qui existe entre les surfaces des nappes d'eau supérieure et inférieure; mais cependant les oscillations de la colonne comprimante sont d'autant moins grandes, que la nappe extérieure est plus étendue. Ordinairement on dispose l'appareil de manière que les surfaces des deux nappes soient égales.

L'uniformité d'écoulement de l'air est d'autant plus grande, que les nappes d'eau éprouvent un moindre déplacement à chaque coup de piston; par conséquent il est avantageux de donner une grande capacité aux caisses de régulateur. Cette capacité, mesurée pendant la marche de la machine, ne devrait jamais être moindre de dix à douze fois le volume du cylindre, et on la fait souvent quinze à vingt fois plus grande.

Lorsque plusieurs machines soufflantes chassent leur vent dans le même régulateur, on ne proportionne toujours ce dernier qu'à la capacité de l'un des cylindres soufflans; et, dans ce cas, on peut adopter sans inconvénient les moindres proportions, puisque de la pluralité des machines résulte déjà une certaine régularité de pression.

On place sur les régulateurs des soupapes de sûreté à poids direct, *s*, ou à levier, *s'*, pour limiter la plus grande pression que doive atteindre l'air, et l'on établit en même temps des tuyaux de trop-plein, *a b d* ou *a' b'*, *fig.* 1 et 3, pour que la colonne comprimante n'excède pas la hauteur voulue. On verra plus loin comment on calcule cette hauteur.

On a objecté, contre les régulateurs à eau, que l'air séjournant sur le liquide se chargeait de vapeurs aqueuses et devenait moins propre à la combustion. Il est vrai en effet que l'air humide est nuisible à la marche des fourneaux (voy. Section Ire, p. 70); mais il n'est nullement prouvé que la quantité d'eau que l'air atmosphérique tient en dissolution augmente lorsqu'il est comprimé dans un régulateur, et l'on sait d'ailleurs qu'une plus forte pression ralentit l'évaporation des liquides, et que l'air abandonne une partie de l'eau qu'il contient lorsque sa température s'abaisse. Or ces deux circonstances se présentent à la fois dans les régulateurs à eau, et il résulte des observations faites par MM. Thibaut et Tardy, qu'elles agissent de telle manière, que non seulement l'air comprimé n'est pas moyennement plus humide que l'air extérieur, mais qu'en été il est toujours plus sec. Ainsi ce ne sont pas les vapeurs aqueuses des régulateurs qui nuisent à la marche des fourneaux, mais seulement celles que contient l'atmosphère, et dont il est impossible de le débarrasser. Du reste, les régulateurs secs ne produisent pas un meilleur effet que les régulateurs à eau, pendant l'été, et les fourneaux marchent aussi-bien avec les uns qu'avec les autres, en hiver, ce qui prouve que le liquide n'exerce pas d'influence sensible sur la qualité de l'air.

Régulateurs à piston flottant. Un régulateur à piston flottant ou à frottement se compose d'un cylindre en fonte, AA, *fig.* 1 à 3, Pl. 30, parfaitement alesé, et d'un piston P, de même métal, qui se meut dans son intérieur. La tige, T, de ce piston est conduite verticalement par des guides, GG, et sa garniture doit bien s'appliquer de toutes parts aux parois du cylindre. Au fond du cylindre aboutissent deux tuyaux : l'un, BB, pour donner entrée à l'air chassé par la machine soufflante; l'autre, CC, pour porter cet air aux buses.

En arrivant au régulateur, une partie de l'air s'échappe par les buses, et l'autre, agissant sur le piston, le soulève avec d'autant plus de vitesse que le poids en est moindre. Après ce premier effet, le piston, réagissant en vertu de sa pesanteur, descend, comprime l'air et, sous cette pression constante, le chasse du régulateur.

Il ne suffit pas que le poids du piston soit réglé pour la plus forte pression à produire (voy. *Calcul des machines souffl. Régulateurs*), il faut encore que la capacité du cylindre soit telle, que les déplacemens du piston ne soient pas trop considérables, car ils ne peuvent s'exécuter sans que la pression de l'air subisse des variations analogues. A cet égard, les consi-

dérations exposées précédemment sont encore applicables, mais ici les difficultés de construction et la cherté de l'appareil imposent l'obligation de se restreindre à de bien plus faibles limites de capacité.

On ne donne pas au cylindre régulateur une capacité moindre qu'une fois et demie celle du cylindre soufflant, et le plus ordinairement on la fait double, ou l'on emploie deux cylindres régulateurs ayant chacun le même volume que celui de la soufflerie, ainsi qu'on l'a fait au Creusot.

Pour empêcher que le piston soit projeté hors du cylindre, on adapte sur sa surface, ou sur l'un des tuyaux, une soupape de sûreté, *s*, que soulève le piston lorsqu'il est parvenu à une certaine hauteur. Il est bon de limiter la course descendante, pour que le moyeu du piston ne vienne pas choquer le fond. Il faut d'ailleurs entre ce dernier et le piston un certain espace, pour que l'air comprimé puisse agir également sur tous les points de la surface flottante.

Ces appareils, quelque bien réglés qu'ils soient, ne peuvent produire une régularité parfaite, parce que la pression de l'air doit vaincre le frottement de la garniture quand le piston s'élève, et que ce frottement vient au contraire en déduction du poids du piston quand il descend. Toutes choses égales d'ailleurs, on augmente la régularité du jet d'air en augmentant le diamètre du cylindre, parce qu'alors les déplacemens du piston sont moindres.

Régulateurs à capacité constante. Ces régulateurs ne sont autre chose que de grands réservoirs en tôle, de forme sphérique ou ellipsoïdale, *fig.* 9, Pl. 30, dans lesquels le vent lancé par les machines soufflantes vient s'accumuler avant d'être dirigé vers les tuyères. L'air y est introduit par des tubulures latérales, T T, *fig.* 9 et 10, ajustés aux tuyaux de sortie des machines soufflantes, et il s'échappe par une conduite, M, *fig.* 9 et 11, adaptée au socle K K, du régulateur. A la partie supérieure de l'appareil est placée une soupape de sûreté, S, *fig.* 9, qui sert à limiter la pression et à établir l'équilibre entre la dépense et la production de l'air, lorsque cette dernière est surabondante.

L'effet des régulateurs à capacité constante est d'autant meilleur, qu'ils ont plus de volume. On leur donne de vingt-cinq à trente fois la capacité de l'un des cylindres soufflans.

Pour faire juger de l'uniformité de vitesse qu'ils produisent dans le jet d'air, supposons un régulateur vingt-cinq fois plus volumineux que le cylindre soufflant, et admettons, ce qui a effectivement lieu, que la pression

de l'air à la sortie de ce dernier soit d'un *dixième* euviron plus forte que celle qui règne dans le régulateur.

A chaque coup de piston, il entre dans le réservoir une quantité de vent égale au vingt-cinquième de sa capacité, avec un excès de pression d'un dixième, et cette quantité de vent affluante se mêle à celle du réservoir, en remplaçant une quantité égale qui s'échappe par les buses; il s'ensuit que le dixième de pression en sus se divise sur toute la masse d'air que contient le régulateur, et que la pression de cet air n'est augmentée en moyenne que de $\frac{1}{250}$. Cette augmentation est à peine sensible aux tuyères et ne dure que quelques instans.

Quoique les régulateurs à capacité constante soient ceux qui produisent le moins de variations dans la pression, l'usage en est encore assez restreint, à cause des frais qu'ils occasionnent et de la difficulté de les établir. Ils sont fort en usage dans le pays de Galles, mais, en France, il n'y a que l'usine de Decazeville (Aveyron) qui en soit pourvue.

De grandes conduites d'air, c'est-à-dire d'un grand diamètre et de grande longueur, peuvent tenir lieu de régulateur, mais, dans ce cas, les variations de pression sont plus considérables aux buses les plus rapprochées de la machine soufflante qu'à celles qui en sont le plus loin, ainsi que le prouvent les expériences qui seront rapportées à l'article *Proportions des machines soufflantes*.

CALCULS RELATIFS AUX MACHINES SOUFFLANTES.

On a vu, dans la seconde section, que le volume d'air à lancer dans un haut-fourneau doit non seulement varier selon la quantité de combustible à brûler dans un temps donné, mais encore que cet air doit être soumis à une pression plus ou moins considérable, selon la nature du combustible.

Le but de toute machine soufflante est donc de produire le volume et la pression d'air nécessaires.

Mesure de la pression. La pression se mesure soit au moyen d'un instrument que l'on nomme *ventimètre, manomètre* ou *pèse-vent*, soit au moyen de soupapes dont la charge est rapportée à une même unité de surface.

Le ventimètre dont on se sert le plus ordinairement dans les usines, réduit à ses parties constituantes, se compose d'un tube en verre *defg*, Pl. 28, *fig.* 26, calibré aussi exactement que possible, doublement recourbé, et ouvert par ses deux extrémités. On adapte ce tube par une de

ses extrémités *d* sur un petit orifice pratiqué dans la paroi AA d'un régulateur ou d'un tuyau destiné à contenir ou conduire l'air comprimé, et l'on emplit la double branche *efg* de mercure jusqu'à une certaine hauteur *a*o, avant que l'air soit comprimé. Dans cet état, la pression de l'air étant la même au-dedans et au-dehors du réservoir, les deux colonnes de mercure se maintiendront au même niveau *a*o.

Si maintenant on fait jouer les machines soufflantes, l'air affluera dans le régulateur; et comme l'orifice ou la somme des orifices par où il doit s'écouler est moindre que l'orifice d'entrée, il se comprimera jusqu'à un certain point dans le régulateur, et réagissant sur la surface du mercure, il le forcera à s'abaisser d'une certaine quantité *ab* dans la branche *ef*, et à s'élever jusqu'à un certain point *c* dans la branche *fg*. La différence des deux colonnes, ou *bc*, sera alors la hauteur de mercure qui s'ajoute à la pression atmosphérique pour comprimer l'air; mais l'air comprimé est aussi soumis à la pression atmosphérique lorsqu'il sort du régulateur, et cette pression contrebalançant celle qui s'exerce sur l'orifice *g* du tube, il s'ensuit que la pression de l'air qui s'écoule est due, en définitive, à la seule hauteur de la colonne *bc*, laquelle lui sert de mesure.

Si le tube est exactement calibré, comme on l'a supposé, l'élévation du mercure *ac* au-dessus du zéro de l'instrument sera égale à son abaissement *ab* au-dessous du même point, en sorte que *ac* sera la moitié de la hauteur de la colonne comprimante. Si donc, à partir du zéro, on établit le long de la branche *fg* des divisions par demi-pouces ou par demi-centimètres, le nombre de divisions et parties de divisions comprises entre zéro et le point *c* indiquera en pouces ou en centimètres la hauteur manométrique *bc*.

Comme la pression de l'air dans les régulateurs n'est jamais parfaitement uniforme, la colonne de mercure oscille continuellement, et l'on prend pour hauteur manométrique la moyenne entre la plus grande et la plus petite élévation du mercure dans la branche *fg*.

La pression du vent doit être mesurée surtout près des buses des fourneaux, pour en déduire plus exactement le volume d'air lancé : il faut donc, autant que possible, placer les manomètres sur les porte-vents, ce qui n'empêche pas d'en placer un sur le régulateur, pour le comparer aux autres, et juger du plus ou moins d'irrégularité de la pression du vent dans son parcours.

Afin d'éviter les erreurs provenant du défaut de calibrage des tubes, on

peut graduer l'instrument en dessus et au-dessous du zéro en pouces ou en centimètres, et prendre la somme des colonnes *ab* et *ac*; mais l'observation exige alors deux personnes pour être faite avec exactitude. Ces erreurs sont, du reste, peu importantes, et tout-à-fait négligeables, à moins de grandes différences de diamètres dans les deux parties du tube.

On fait, dans le même but, des manomètres à cuvette comme les baromètres; mais cet instrument est beaucoup plus cher que les manomètres ordinaires, plus difficile à placer; et à cause des oscillations de la colonne, le plus d'exactitude dans sa construction n'est pas d'une très grande utilité.

Les Pl. 28 et 29 indiquent des dispositions de manomètres à simples tubes, avec leurs fûts.

Les soupapes dont on se sert pour mesurer la pression de l'air dans les régulateurs sont à poids direct, Pl. 28, *fig.* 9 et 10, ou à levier, *fig.* 13 et 14, et Pl. 29, *fig.* 9, 10 et 11. Elles servent en même temps à limiter la pression, en se soulevant aussitôt qu'elle est dépassée, pour donner écoulement à l'air.

On calcule la pression par pouce carré, ou par centimètre carré de l'orifice de la soupape, de la manière suivante, la charge ou le poids de la soupape étant connus :

Soit 20 kil. la charge sous laquelle la soupape commence à se soulever, et la section de l'orifice égale à 80 cent. carrés; en divisant 20 kil. par 80, on aura la charge en kilogrammes par centimètre carré, qui, dans ce cas, est de 0k25; et ce dernier poids est la mesure de la pression sur la surface prise pour unité. On opérerait de la même manière pour évaluer la pression en livres par pouce carré.

Si les soupapes sont coniques, la section de l'orifice doit être prise au point où commence l'évasement du cône.

La mesure de la pression par les soupapes est beaucoup moins exacte que celle obtenue par le manomètre, parce que souvent elles adhèrent à leur siége; l'emploi du tube à mercure est donc préférable dans tous les cas.

On fait quelquefois des manomètres à eau; mais comme ce liquide est environ treize fois plus léger que le mercure, il s'ensuit que les colonnes comprimantes doivent aussi avoir treize fois plus de hauteur, ce qui oblige à employer des tubes très longs, même pour la mesure de pressions peu considérables. Cet inconvénient limite l'usage de ces instrumens à la mesure des faibles pressions.

Il est facile de déduire des hauteurs manométriques les pressions correspondantes par centimètre carré, ainsi que les hauteurs de colonnes d'eau produisant le même effet.

On sait que la hauteur barométrique qui fait équilibre à la pression atmosphérique, à la surface du globe, est de 76 centimètres, quelle que soit la largeur du tube qui contient le mercure; par conséquent la pression de l'air sur un centimètre carré est égale au poids d'une colonne de mercure de 76 cent. de hauteur sur 1 cent. carré de base.

Or, le poids de 1 cent. cube de mercure étant de $0^{k}013568$, il en résulte que la pression atmosphérique sur 1 cent. carré est 76 fois plus considérable, ou égale à $1^{k}0312$; et qu'en multipliant le nombre de centimètres de hauteur de la colonne manométrique par $0^{k}013568$, ou par $13^{g}57$, on aura la pression additionnelle par centimètre carré, due à cette colonne.

Le rapport du poids de l'eau à celui du mercure étant exactement celui de 1 à 13.568, la colonne d'eau qui ferait équilibre à $0^{m}76$ de mercure est 13 fois 568 plus haute que cette dernière, ou de $10^{m}312$; et si l'on divise 10.312 par 76, on aura $0^{m}1357$, ou $13^{c}57$, pour hauteur d'eau correspondante à chaque centimètre de mercure de la colonne manométrique.

On voit, d'après ces calculs, que le même nombre qui exprime la pression en grammes par centimètre carré, exprime aussi la hauteur d'eau correspondante, mesurée en centimètres.

Pour convertir les pressions en kilogrammes par centimètre carré en pressions exprimées en livres par pouce carré, il suffit de multiplier les premières par le produit des rapports de la livre au kilogramme, et du pouce carré au centimètre carré. Or, 1 kil. est égal à $2^{l}0249$; 1 pouce est égal à $7^{c}344$; et le produit de ces nombres est 14,77. Multipliant donc $0^{k}01357$ par 14,77, ou $13^{g}57$ par 0,01477, on aura la pression en livres par pouce carré correspondante à la hauteur d'un centimètre de mercure.

On a réuni dans le tableau suivant les résultats des diverses conversions ci-dessus, jusqu'à une hauteur de 20 cent. de mercure, ce qui est à peu près la plus forte dont on ait à faire usage.

HAUTEUR DE LA COLONNE de mercure.	HAUTEUR DE LA COLONNE d'eau.	PRESSION PAR CENTIMÈTRE carré.	PRESSION PAR POUCE carré.
centim.	centim.	gramm.	livr.
1	13,57	13,57	0,200
2	27,14	27,14	0,401
3	40,70	40,70	0,601
4	54,27	54,27	0,802
5	67,84	67,84	1,002
6	81,41	81,41	1,202
7	94,98	94,98	1,403
8	108,54	108,54	1,603
9	122,11	122,11	1,804
10	135,68	135,68	2,004
11	149,25	149,25	2,204
12	162,82	162,82	2,405
13	176,38	176,38	2,605
14	189,95	189,95	2,806
15	203,52	203,52	3,006
16	217,09	217,09	3,206
17	230,66	230,66	3,407
18	244,23	244,23	3,607
19	257,80	257,80	3,808
20	271,37	271,37	4,008

Volume d'air. Le moyen qui se présente le plus naturellement pour déterminer la quantité d'air lancée par une machine soufflante, est de mesurer la capacité des caisses ou cylindres correspondante à la course du piston, et de multiplier cette capacité par le nombre de coups de piston observé pour un temps donné. Ainsi, par exemple, une machine soufflante à simple effet, dont le piston aurait 4 pieds de surface, 2 pieds de volée et donnerait 10 coups par minute, chasserait à chaque coup de piston, d'après ce mode d'évaluation, 2×4 ou 8 pieds cubes d'air, et par conséquent 80 pieds cubes par minute.

Mais ce calcul est loin d'être exact, à cause de l'espace nuisible et des pertes d'air qui peuvent avoir lieu; et le volume ainsi trouvé n'a pas même de rapport constant avec le volume réellement produit, par suite de l'état variable des garnitures de piston.

Il n'y a d'autre moyen exact de connaître la quantité réelle d'air lancée par une machine soufflante dans un fourneau, que de mesurer le volume d'air comprimé qui sort par les buses. Or, ce volume, pour un temps donné, une seconde par exemple, est évidemment égal à celui d'une colonne d'air ayant pour base la section d'orifice de la buse, et pour longueur le chemin que parcourrait pendant une seconde cette même section supposée mobile et obéissant librement à la pression de l'air. Il ne s'agit donc que de connaître ce chemin, ou la *vitesse* de l'air par seconde, et de la multiplier par la section de la buse, pour avoir le volume réel d'air expiré. Ainsi, en désignant par v la vitesse par seconde de l'air comprimé, par S la somme des sections des buses, Sv sera le volume d'air comprimé fourni par la machine dans le même temps.

La vitesse est donnée par la formule

$$v = 395 \sqrt{\frac{h}{0{,}76+h}} \text{ (1)}$$

(1) Voici comment s'établissent les formules relatives à l'écoulement de l'air en sortant par des buses :

Soient S la section de l'orifice d'écoulement, ou la somme des orifices s'il y en a plusieurs.

h, la hauteur de la colonne de mercure du ventimètre, en mètres.

b, la hauteur barométrique égale à 0^m76.

$d = 10466$, la densité du mercure, en prenant pour unité celle de l'air à la température zéro, et sous la pression de 0^m76.

d', la densité de l'air comprimé dans le régulateur.

$g = 9^m809$ le double de l'espace parcouru par un corps grave pendant la première seconde de sa chute.

Il s'agit de déterminer :

v la vitesse par seconde de l'air comprimé à la sortie de l'orifice.

q, le volume d'air sorti dans le même temps, ramené à la densité de l'atmosphère. Toutes les mesures étant en mètres, ce volume sera exprimé en mètres cubes.

L'écoulement de l'air est dû à la pression de la colonne de mercure dont la hauteur est h, ou, ce qui revient au même, à la pression d'une colonne d'air comprimé de même diamètre et de même poids. Soit H, la hauteur de cette colonne ; les deux hauteurs sont entre elles en raison inverse des densités des deux fluides, on a donc $h : H :: d' : d$ d'où $H = \frac{hd}{d'}$. Mais la pression atmosphérique étant b, et celle exercée par l'air comprimé dans le régulateur étant $b+h$, les densités des deux fluides sont entre elles comme ces pressions : on a donc, $1 : d' :: b+h$, d'où $d' = \frac{b+h}{b}$ et enfin $H = \frac{bdh}{b+h}$.

dans laquelle h est la hauteur manométrique et 0^m76 la hauteur barométrique ; et dès lors on a pour expression du volume d'air comprimé,

$$S v = 395\, S \sqrt{\frac{h}{0{,}76+h}}$$

Afin de rendre comparatifs entre eux les effets des machines soufflantes,

La vitesse d'écoulement est donnée par la formule

$V = \sqrt{2gH} = \sqrt{2g \cdot \frac{bhd}{b+h}}$; et en mettant pour g, b et d leurs valeurs numériques ; cette formule devient

$V = 395{,}04 \sqrt{\frac{h}{0{,}76+h}}$, dans laquelle on néglige en pratique la fraction décimale.

Le volume $S v$ d'air comprimé est au volume Q qu'occuperait cet air sous la pression atmosphérique, en raison inverse des densités ou des pressions ; on a donc $S v : Q :: b : b+h$, d'où

$Q = S v \cdot \frac{b+h}{b} = \frac{S}{b} \sqrt{2ghbd(b+h)}$

Introduisant les valeurs numériques dans cette expression, elle devient

$Q = 520\, S \sqrt{h(0{,}76+h)}$

Ce volume théorique est trop fort, et d'après les expériences de M. d'Aubuisson, il doit être réduit de 6 pour cent, eu égard à la forme des buses de fourneaux, en sorte que le volume d'air réellement fourni est

$Q = 0{,}94 \cdot 520\, S \sqrt{h(0{,}76+h)} = 489\, S \sqrt{h(076+h)}$.

La quantité $489 \sqrt{h(0{,}76+h)}$ représente ici la vitesse v' que devrait avoir l'air s'il sortait des buses à la densité atmosphérique, et cette vitesse fictive facilitant les calculs, on a donné ses diverses valeurs jusqu'à une hauteur de 20 centimètres de mercure, dans le tableau joint au texte.

Lorsqu'on n'a à considérer qu'une seule buse, il est plus commode d'introduire son diamètre dans la formule. D étant ce diamètre, on a $S = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{3{,}1416}{4} D^2 = 0{,}7854\, D^2$. Le volume d'air fourni est alors exprimé par $Q = 0{,}7854 \cdot 489\, D^2 \sqrt{h(0{,}76+h)}$ ou $Q = 0{,}7854\, D^2 v'$ d'après la notation adoptée ci-dessus.

Pour donner à l'expression du volume réel toute l'exactitude désirable, il faut y introduire les corrections relatives aux variations de la hauteur barométrique et de la température.

Si l'on désigne par b' la hauteur du baromètre effectivement observée, et par Q' ce que devient le volume Q dans ce cas, les deux volumes seront en raison inverse des pressions barométriques et l'on aura $Q' = Q \frac{b}{b'}$.

L'air sec se dilate de 0,00375, et eu égard à son état hygrométrique ordinaire, de 0,004 de son volume par chaque degré centigrade de température au-dessus de zéro ; il se contracte de la même quantité par chaque degré au-dessous de ce point ; en sorte qu'un volume

quelles que soient la température de l'air atmosphérique et la hauteur barométrique, il faut ramener l'expression précédente du volume à un même terme de comparaison ; et à cet effet on calcule ce que devient le volume $S v$ à la température zéro et sous la pression barométrique de 0^m76.

L'expression à laquelle on parvient en désignant par V le volume d'air fourni en une seconde et évalué en mètres cubes, est

$$V = \frac{S}{1 \pm 0{,}004\,t} \cdot 489 \sqrt{h\,(0{,}76 + h)}$$

dans laquelle t est la température de l'air aspiré, exprimé en degrés centigrades. Si t est au-dessus de zéro, on prend pour dénominateur $1 + 0{,}004\,t$; s'il est au-dessous de zéro, ce dénominateur devient $1 - 004\,t$.

En faisant $489 \sqrt{h\,(0{,}76 + h)} = v'$, la formule devient simplement $V = \frac{S v'}{1 \pm 0{,}004\,t}$

Afin de faciliter le calcul du volume, soit de l'air comprimé, soit de l'air non comprimé ou ramené à la densité atmosphérique, on a réuni dans le

d'air V à zéro devient $V\,(1 \pm 0{,}004\,t)$ à t degrés, le signe + étant pris pour les températures au-dessus de zéro, et le signe — pour les températures au-dessous.

Si donc, V est le volume à zéro, correspondant à Q' calculé en ayant seulement égard à la hauteur manométrique, et si la température de ce volnme Q' est t, on aura $V\,(1 \pm 0{,}004\,t) = Q'$ d'où

$V = \frac{Q'}{1 \pm 0{,}004\,t} = \frac{Q\,b}{(1 \pm 0{,}004)\,b'}$; et en mettant pour Q sa valeur la plus générale, on a pour expression définitive du volume d'air fourni par une machine soufflante, et ramené à zéro degré ainsi qu'à la pression de 0,76,

$V = \frac{1}{1 \pm 0{,}004\,t} \cdot \frac{b}{b'} \cdot 489\,S \sqrt{h\,(0{,}76 + h)}$

Dans tous les cas ordinaires, le rapport $\frac{b}{b'}$ diffère très peu de l'unité ; on peut donc le négliger en pratique et faire usage de la formule

$V = \frac{489}{1 \pm 0{,}004\,t} \cdot S \sqrt{h\,(0{,}76 + h)}$ ou $\frac{S\,v'}{1 \pm 0{,}004\,t}$.

Si l'on faisait usage du thermomètre de Réaumur, il faudrait prendre pour coefficient de dilatation de l'air, le nombre 0,0047 au lieu de 0,004.

Il eût fallu à la rigueur tenir compte de la dilatation du mercure en même temps que de celle de l'air ; mais vu la faible hauteur des colonnes manométriques, cette correction ne changerait pas sensiblement les résultats, et elle aurait l'inconvénient de compliquer la formule sans utilité réelle.

tableau suivant les valeurs de la vitesse réelle v et de la vitesse fictive v', calculées pour les colonnes manométriques croissant de centimètre en centimètre.

HAUTEURS MANOMÉTRIQUES en centimètres. h.	VITESSE par seconde DE L'AIR COMPRIMÉ. v.	VITESSE FICTIVE DE L'AIR par seconde. v'.
1cent.	45m03	42m91
2	63.20	61.07
3	77.02	75.28
4	88.32	87.47
5	98.75	98.41
6	106.65	108.47
7	114.71	117.89
8	121.90	126.76
9	128.57	135.25
10	134.69	143.40
11	140.42	151.27
12	145.91	158.91
13	150.90	166.33
14	156.00	173.57
15	160.37	180.66
16	164.91	187.61
17	168.85	194.44
18	172.85	201.13
19	176.64	207.75
20	181.32	214.26

Pour obtenir exactement les vitesses correspondantes à des hauteurs manométriques comprises entre deux nombres entiers consécutifs de centimètres, il faudrait avoir recours aux formules; mais on parvient à un degré d'approximation suffisant pour la pratique, en considérant les différences entre deux vitesses consécutives, comme proportionnelles aux différences entre les hauteurs correspondantes.

Si donc, par exemple, on veut avoir la vitesse de l'air comprimé correspondante à 114 millimètres de mercure, on dira : Si pour une diffé-

rence de $5^{m}49$ entre les vitesses relatives aux hauteurs de 11 et 12 centimètres, la différence de ces hauteurs est de 10 millimètres, quelle sera la différence entre la plus petite des deux vitesses et la vitesse cherchée, pour 4 millimètres de différence entre la plus petite hauteur et la hauteur donnée; ce qui donne la proportion

$$5^{m}49 : 10 :: x : 4 \text{ d'où } x = 2^{m}196 \text{ ou } 2^{m}20$$

Ajoutant donc $2^{m}20$ à la vitesse $140^{m}42$ correspondante à 11 centimètres, on aura $142^{m}62$ pour la vitesse produite par 114 millimètres de mercure. La valeur exacte de cette vitesse est $142^{m}45$, peu différente de la valeur approximative.

Cette méthode d'approximation donne toujours des vitesses un peu trop fortes, pour les accroissemens de hauteur en deçà de 5 millimètres, des vitesses un peu faibles au-delà; et les vitesses approximatives diffèrent d'autant moins des vitesses exactes, que les hauteurs de mercure sont plus considérables.

Pour donner à la fois un exemple de l'emploi des formules et de l'effet de la température sur la mesure du volume d'air, supposons qu'il s'agisse de déterminer la quantité de vent que reçoit un fourneau par trois buses de 30 lignes ou $0^{m}0677$ de diamètre chacune, sous une pression manométrique de $0^{m}13$, et par des températures différentes, l'une de 12 degrés centigrades au-dessous de zéro, l'autre de 24 degrés au-dessus.

La section d'une buse est égale à $0,7854\,(0,068)^2 = 0,003632$ mètres carrés (1); la somme des trois sections ou $S = 0,0109$. La table donne $v' = 166^{m}33$, et parconséquent $Sv' = 0,0109 \cdot 166,33 = 1^{m.\,cub.}813$.

Ce volume est celui que fournirait réellement la machine à la température zéro; pour avoir celui qui correspond à 12 degrés de froid, il faut le diviser par $1 - 0,004 \times 12$ ou par 0,952, et l'on trouve que dans cette circonstance, le volume d'air fourni par la machine, ramené à la température zéro, équivaut à $1^{m.\,cub.}904$ par seconde.

A la température de 24 degrés de chaleur, le volume ramené à zéro est $\frac{1.813}{1 + 0,004 \times 24} = 1^{m.\,cub.}654$.

Ainsi, dans le premier cas, le fourneau recevrait 114 mètres cubes d'air par minute; et dans le second, seulement 99, c'est-à-dire, qu'entre des

(1) Le nombre 0,7854 est égal au quart du nombre 3,1416 qui exprime le rapport de la circonférence au diamètre.

limites de température qui se présentent assez souvent dans nos climats, les variations entre les volumes d'air fournis par une même machine soufflante s'étendraient jusqu'à 15 mètres cubes par minute.

Une telle différence dans la quantité d'air qui alimente un haut fourneau, doit nécessairement, et indépendamment de l'effet hygrométrique indiqué section II, pag. 70, occasionner des modifications sensibles dans la température du foyer, dans la production des gaz réducteurs, et diminuer l'une et l'autre pendant les chaleurs. Si ce fait ne suffit pas seul à expliquer la marche désavantageuse des fourneaux en été, du moins fait-il connaître l'une des causes agissantes, et l'importance du rôle de l'air dans ces appareils. On conçoit aussi pourquoi il est nécessaire d'activer davantage les machines soufflantes en été qu'en hiver.

Dimensions et proportions des machines soufflantes. Il est essentiel, dans les machines soufflantes, que les dimensions des caisses ou cylindres soient calculées de manière que, nonobstant l'espace nuisible, et les pertes d'air qui ont lieu par les soupapes et par les garnitures de piston, on obtienne le volume d'air dont on a besoin; que les orifices des soupapes d'aspiration et d'expiration soient dans un rapport convenable avec la surface du piston, afin d'établir moins de différence entre la densité de l'air aspiré et celle de l'air extérieur, ainsi que pour consommer moins de force à aspirer ou chasser l'air; que les sections des divers tuyaux de conduite jusqu'aux buses soient telles qu'il n'en résulte pas d'accroissement sensible dans la consommation de force motrice, pour y faire passer l'air; enfin, que la tige du piston ait une résistance suffisante, soit qu'elle comprime l'air en poussant, soit qu'elle produise le même effet en tirant.

Caisses et cylindres. Si dans l'établissement d'une machine soufflante, on pouvait prévoir exactement *a priori* le volume de l'espace nuisible réduit au minimum, ainsi que les diverses pertes d'air, on en déduirait facilement le rapport du volume des caisses ou des cylindres au volume d'air que l'on doit réellement obtenir. Mais outre que ces appréciations sont impossibles à faire exactement, les pertes d'air varient encore selon l'état de la machine, et dès lors l'expérience peut seule fournir le rapport cherché ou du moins en indiquer les limites.

D'après les observations de M. Walter sur les machines soufflantes à cylindre de l'usine de Lavoulte (Ardèche), avec des pistons à garniture autoclave neuve, et les machines étant parfaitement mises en état, *le rap-*

port du volume d'air expulsé au volume engendré par les pistons, est égal à 0,794.

Six semaines après, ce rapport n'était plus que.............. 0,742

Avec des pistons à garniture de chanvre, représentés Pl. 26, *fig.* 14 et 15, la garniture étant neuve, le rapport des volumes était..... 0,617

Et trois semaines après.................................... 0,515

Il est à observer qu'avec les pistons de ce dernier genre, l'espace nuisible est plus grand, et que les garnitures ne retiennent pas très bien l'air.

Des observations semblables faites par M. Walter, sur les machines soufflantes du haut-fourneau de Vienne (Isère), dont les pistons sont à garniture autoclave, ont donné les résultats suivans :

Avec garniture neuve....................................... 0,785

Avec garniture servant depuis 20 jours.................... 0,756

Avec garniture servant depuis deux mois................... 0,705

M. Morin a recueilli dans diverses usines les résultats suivans, mais sans indiquer le genre des garnitures et le temps depuis lequel elles servaient (1).

Machine soufflante à cylindre du haut-fourneau de Framont (Vosges), à l'air froid ; rapport du volume d'air expulsé au volume engendré par le piston.. 0,718

Machine à deux cylindres desservant deux hauts-fourneaux de 12 à 13 mètres de hauteur et un fourneau à la Wilkinson, marchant à l'air froid.. 0,707

Machine à un cylindre, de Moulin-Neuf, près Moyeuvre (Moselle).. 0,508

Machine à cylindre de la grande forge de Framont (Vosges).. 0,417

Machine du haut-fourneau de Grand-Fontaine à Framont, à un seul cylindre, l'air étant lancé à la température de 206°, et son volume étant ramené à celle de 15°.......................... 0,372

Quant aux machines soufflantes à caisses, avec pistons garnis de liteaux en bois pressés par des ressorts, il n'existe pas d'observations publiées, et la seule dont on puisse offrir ici le résultat a été faite par M. Walter sur la soufflerie des forges de Jeand'heure (Meuse) ; il a trouvé pour le rap-

(1) Voyez l'*Aide-mémoire de Mécanique pratique*, par M. Arthur Morin, capitaine d'artillerie. 1837.

port du volume d'air expulsé au volume d'air engendré par le piston, le nombre 0,582.

D'après ces résultats, et en négligeant les rapports au-dessous de 0,705 pour les machines à cylindre, comme provenant très probablement de garnitures usées, on trouve pour rapport moyen 0,743.

Avec des garnitures convenablement entretenues, on peut compter sur le rapport de 0,75, et c'est celui dont on fera usage dans les calculs ultérieurs.

La soufflerie à caisse de Jeand'heurs étant neuve et faite avec beaucoup de soin, il est probable que le rapport qu'elle a fourni serait trop fort pour la plupart des machines de même genre, et que ce rapport doit être réduit à 0,55 au moins, pour le calcul des dimensions des caisses.

Eu égard à la dilatation de l'air en été, il faut calculer les dimensions des cylindres et des caisses de manière que le volume expulsé à la température moyenne de cette saison, étant ramené à zéro, produise le volume d'air dont on a réellement besoin. De cette manière, on aura plus que la quantité d'air nécessaire par toutes les températures inférieures, mais alors on peut toujours ralentir le mouvement des machines.

On a d'ailleurs souvent besoin, momentanément, d'un excès de vent, et sous ce rapport il vaut mieux faire les machines un peu fortes que de s'en tenir aux dimensions strictement utiles.

En admettant 20° pour moyenne des plus hautes températures d'été, et désignant par V le volume d'air, à la température zéro, dont on a besoin par minute, ce volume deviendra à 20 degrés $V(1 + 0,04 \times 20)$ ou $1,08\,V$. Il faudra donc que le cylindre ou la caisse de la machine puisse le fournir.

S'il s'agit d'une machine à cylindre, en représentant la course du piston par l, et le nombre de courses pendant une minute par n, le diamètre D du cylindre est donné par la formule

$$D^2 = 1,850 \frac{V}{ln}. \text{ (1)}$$

(1) D'après la notation et les rapports adoptés, et de plus t désignant une température quelconque au-dessus de zéro, on a pour expression du volume d'air fourni en une minute par une machine à cylindre, $0.75 . \pi \frac{D^2}{4} l n$, lequel doit être égal à $V(1 + 0,04\,t)$; d'où, en mettant pour π sa valeur 3,1416, on tire $D^2 = \frac{(1+0,04\,t)}{0,5890} \frac{V}{ln}$; et si l'on fait $t = 20$, cette formule se réduit, tous calculs faits, à $D^2 = 1,850 \frac{V}{ln}$.

Et pour une machine à caisse carrée, l et n ayant mêmes significations que précédemment, le côté C de la caisse s'obtiendra par la formule

$$C^2 = 1,965 \frac{V}{ln} \quad (1)$$

Dans ces deux expressions, on a respectivement fait usage des nombres 0,75 et 0,55 pour rapports des volumes d'air expulsés aux volumes d'air engendrés par les pistons.

Pour faire usage de ces formules, il faut déterminer la course ou son rapport avec le diamètre ou avec le côté de la caisse, et fixer la vitesse du piston.

Dans les machines à cylindre, on prend ordinairement la course égale au diamètre, ou $l = D$, et l'on adopte pour vitesse du piston 1 mètre par seconde.

Dans les machines à caisse, à simple effet, l'emploi des cames ne comportant pas une longue course, on fixe cette dernière à l'avance, et on lui donne au plus 0^m65. On peut sans inconvénient donner au piston une vitesse de 0^m25 par seconde (page 165).

Comme il faut toujours au moins deux caisses pour obtenir un vent plus régulier, on calcule le côté de l'une des caisses, en prenant pour V la moitié du volume d'air nécessaire; ou, en général, on divise V par le nombre de caisses que l'on veut employer.

Exemples numériques. - Nombre de courses du piston. Soit d'abord à déterminer le diamètre d'un cylindre soufflant à double effet, devant donner 100 mètres cubes d'air par minute, la course du piston étant égale à ce diamètre, et sa vitesse étant de 1 mètre par seconde ou de 60 mètres par minute.

On a ici $l = D$, $ln = 60$, et $V = 100$; d'où $D^2 = 1,850 \frac{V}{nl} = \frac{185}{60} = 3,0833$ et $D = 1^m756$.

On aura la hauteur totale du cylindre en ajoutant à l ou à 1^m756 l'épaisseur du piston, plus le jeu nécessaire près du fond et du couvercle (page 168).

Pour déterminer le nombre de courses du piston, on a $n = \frac{60}{l} = \frac{60}{1,756} = 34$; en sorte que le piston devra donner 17 coups par minute.

Cherchons actuellement les dimensions des caisses d'une machine souf-

(1) Pour les machines à caisses, on a $0,55\, C^2\, ln = (1 + 0,04\, t)\, V$, d'où en faisant $t = 20$, on tire $C^2 = \frac{1,08}{0,55} \frac{V}{ln} = 1,965 \frac{V}{ln}$.

flante à simple effet, se composant de deux caisses, devant produire 26 mètres cubes d'air par minute, la course des pistons étant de 0^m65, et leur vitesse de 0^m25 par seconde ou de 15 mètres par minute,

On a $l = 0^m65$, $ln = 15$ et $V = \frac{26}{2} = 13$; d'où $C^2 = 1,965 \frac{V}{ln} = 1,965 \frac{13}{15} = 1,7030$ et $C = 1^m304$.

Pour le nombre de courses du piston, on a $n = \frac{15}{0,65} = 23$, nombre qui représente ici celui des coups de piston dans une minute.

La hauteur de la caisse se détermine d'une manière analogue à celle du précédent exemple.

Lors même qu'on aurait à produire un plus grand volume d'air, il serait préférable de n'employer que deux caisses, parce qu'on a ainsi une moindre somme d'espaces nuisibles, et qu'un moindre développement de garniture diminue la force absorbée par les frottemens. On peut sans difficulté construire des caisses ayant jusqu'à 2 mètres de côté; celles de l'usine de Raveaux (Nièvre) ont même 2^m08, sans que la direction des pistons en soit moins bien assurée.

Ouvertures des soupapes d'aspiration. Le piston d'une machine soufflante tendant à faire le vide pendant l'aspiration de l'air, il faut, pour le faire marcher, d'autant plus de force que les orifices d'aspiration sont moindres, que son mouvement est plus rapide, et que l'air qu'il chasse est plus fortement comprimé. La portion de force qui produit la compression ne peut être diminuée; mais celle que nécessite l'aspiration doit être réduite autant que possible en donnant de grands orifices aux soupapes.

Dans les machines à caisses, le piston ayant peu de vitesse, l'orifice ou la somme des orifices des soupapes d'aspiration peut varier entre $\frac{1}{15}$ et $\frac{1}{20}$ de la section des caisses, sans qu'il en résulte une consommation de force notable, mais il est toujours avantageux de leur donner plus de grandeur lorsque cela est possible.

Dans les petites machines à cylindre où le piston n'a que 0^m75 à 0^m80 de vitesse par seconde, il convient de donner aux soupapes de $\frac{1}{15}$ à $\frac{1}{12}$ de la section du cylindre.

Enfin, dans les grandes machines où la vitesse du piston est au moins d'un mètre, on donne aux orifices de soupapes, de $\frac{1}{10}$ à $\frac{1}{9}$ de la section du cylindre. C'est dans ce cas surtout qu'il est nécessaire d'avoir recours à des boîtes à soupapes, afin de moins affaiblir le couvercle et le fond.

Ouvertures des soupapes d'expiration. On donne généralement à ces ouvertures une surface égale à $\frac{1}{24}$ ou $\frac{1}{25}$ de la section des caisses ou des cylindres, mais l'air éprouve encore une assez forte contraction à sa sortie, et il paraît préférable d'adopter le rapport de $\frac{1}{22}$, comme le font quelques constructeurs.

Dimensions des tuyaux de conduite. On donne aux tuyaux de conduite de l'air, depuis la machine jusqu'au régulateur, la même section qu'aux soupapes d'expiration, vu que l'espace à parcourir est ordinairement court; mais lorsque cet espace excède 12 à 15 mètres, il est avantageux de faire ces tuyaux un peu plus larges, afin de compenser l'excédant de frottement de l'air par une diminution de vitesse.

Au-delà du régulateur, il suffit de donner aux conduites principales une section égale au plus à $\frac{1}{20}$ de la somme des sections des cylindres dont elles conduisent le vent. Presque toujours on leur donne de moindres dimensions, et dans un grand nombre de machines, le rapport des sections n'est que de $\frac{1}{25}$ à $\frac{1}{22}$; mais, ainsi qu'on va le voir, il est préférable de faire les conduites spacieuses, et par ce motif il vaut mieux adopter le rapport de $\frac{1}{20}$, ou ne s'en écarter que très peu, surtout si ces conduites sont longues.

Lorsqu'une conduite principale distribue le vent à plusieurs fourneaux, elle peut diminuer graduellement de diamètre, de telle sorte que les sections décroissent dans un rapport un peu moindre que celui des volumes d'air à conduire. Ainsi, deux fourneaux recevant d'égales quantités de vent par la même conduite, la section de cette conduite peut diminuer d'un peu moins de moitié, après avoir passé le point de distribution au premier fourneau.

Pour avoir les sections des embranchemens qui conduisent aux buses des fourneaux, il faut diviser la section primitive de la conduite principale par le nombre totale de buses à alimenter. Ainsi, ayant deux fourneaux à trois tuyères, on trouvera la section de chaque embranchement en divisant par 6 la section de la conduite prise à l'issue du régulateur.

Si l'on faisait usage d'air chaud, comme cet air doit être chauffé à 300° environ, et qu'alors son volume est doublé, il faudrait aussi doubler les sections de tous les tuyaux dans lesquels il passe, afin de ne pas absorber une partie de la force des machines par l'accroissement de vitesse et de frottement; (1) mais on se contente ordinairement d'augmenter la

(1) Pour déterminer rigoureusement les diamètres des conduites, il faudrait avoir égard à

section de ces tuyaux, de moitié ou au plus des deux tiers, afin de ne pas trop accroître la dépense.

Effet des longues conduites. Ainsi qu'on l'a indiqué (page 173), les conduites de vent peuvent servir de régulateur, mais elles ne produisent toutefois cet effet que lorsqu'elles sont bien proportionnées. Si elles étaient très longues et trop étroites, le frottement diminuant alors très sensiblement la vitesse de l'air, les fourneaux répartis sur ces conduites seraient inégalement alimentés, et les derniers recevraient moins de vent que les premiers. Au contraire, lorsqu'elles ont les proportions voulues, non seulement tous les fourneaux sont à peu près également alimentés, mais encore les derniers le sont avec plus de régularité, comme le prouvent les expériences suivantes, faites par M. Walter, à l'usine de Lavoulte (Ardèche).

La conduite principale a 43 mètres de longueur, et un diamètre de $0^{m}60$; sa section est uniforme et égale à $\frac{1}{22}$ de la somme des sections des deux cylindres à vent. Elle alimente quatre fourneaux espacés de 10 mètres d'axe en axe.

Tous les fourneaux étant pourvus chacun de trois tuyères de 30 lignes ($0^{m}0677$) de diamètre, et d'un manomètre placé sur le porte-vent de la tuyère de derrière, ces manomètres ainsi que celui du régulateur ont indiqué les hauteurs suivantes :

	Hauteur maxima.	Hauteur minima.	Différence.	Hauteur moyenne.
Manomètre du régulateur......	122 millim.	105 millim.	17 millim.	113,5 millim.
du 1er fourneau....	119	108	11	113,5
du 2e —	117	110	7	113,5
du 3e —	116	112	4	114
du 4e —	115	113	2	114

On voit que les oscillations du manomètre diminuent rapidement à mesure que la conduite est plus longue, et ce fait semblerait indiquer qu'il y aurait de l'avantage à éloigner assez le régulateur des fourneaux.

Des observations analogues faites à l'usine de Decazeville (Aveyron), où la conduite principale va en décroissant de section dans des rapports convenables, indiquent que, dans ce cas encore, le dernier fourneau est aussi bien alimenté que le premier, et avec beaucoup plus de régularité.

leur longueur et à la vitesse qu'on voudrait imprimer à l'air dans les tuyaux ; mais ces calculs étant longs et ne reposant pas d'ailleurs sur des bases suffisamment vérifiées, on peut s'en tenir aux données d'expérience rapportées, entre les limites de pression employées pour les hauts-fourneaux.

Il suffit, du reste, de se rappeler l'effet des régulateurs à grande capacité pour voir que les conduites ajouteront d'autant plus à la régularité du vent qu'elles seront plus spacieuses.

Section des buses. De la formule $V = \frac{Sv'}{1 \pm 0,004\,t}$ (page 179), dans laquelle S est la somme des sections des buses, on tire $S = \frac{V(1 \pm 0,004\,t)}{v'}$, expression qui montre que la section des buses ne dépend pas seulement du volume V d'air à lancer par seconde, mais encore de la température t de cet air et de sa vitesse de projection v', laquelle dépend elle-même de la hauteur manométrique.

Soit, par exemple, à déterminer la section de buses nécessaires pour lancer dans un fourneau 40 mètres cubes d'air par minute, sous une pression h de 8 centimètres de mercure, et à diverses températures.

Ce volume d'air exige deux tuyères (section III, page 87) : ainsi, le volume à lancer par chacune sera de 20 mètres cubes par minute, ou de $0^{m.\,cub.}333$ par seconde; c'est la valeur de V.

La pression étant de 8 centimètres, la table (page 177) donne la valeur correspondante de $v' = 126^{m}76$, et si nous supposons d'abord $t = 10°$ au-dessous de zéro, on a $S = \frac{0,333(1 - 0,004 \times 10)}{126,76} = 0^{m.\,car}002522$ pour section d'une buse.

Si l'on désigne par d le diamètre de cette buse, on a

$$d^2 = \frac{S}{0,7854} = \frac{0,002522}{0,7854} = 0,003212\text{; d'où } d = 0^{m}0567.$$

Supposons actuellement $t = 20°$ au-dessus de zéro, la formule devient $S = \frac{0,333(1 + 0,004 \times 20)}{126,76} = 0,00284.$

D'où $d^2 = \frac{0,00284}{0,7854} = 0^{m\,c}003616$ et $d = 0^{m}060.$

Enfin, si le volume d'air ci-dessus devait être chauffé à la température de 250°, la section de chaque buse deviendrait

$$S = \frac{0,333(1 + 0,004 \times 250)}{126,76} = \frac{0,666}{126,76} = 0,005254,$$

et l'on aurait $d^2 = \frac{0,005254}{0,7854} = 0,006688$; d'où $d = 0,0819.$

En supposant que le fourneau ne marche qu'à l'air froid, on voit qu'il

faut avoir une série de buses de divers diamètres, entre les limites calculées ci-dessus; mais comme il peut être accidentellement nécessaire d'augmenter la pression du vent, il faut en outre se pourvoir de buses plus petites, dont le diamètre serait calculé d'après les pressions jugées utiles.

Il en serait d'ailleurs de même si le fourneau marchait à l'air chaud.

Diamètre de la tige du piston. La tige du piston ne doit éprouver aucune flexion lorsqu'elle agit en poussant, et lorsque cette condition est remplie, elle a toujours beaucoup au-delà de la force suffisante pour résister en tirant.

L'expérience a indiqué que le diamètre d'une tige de piston de machine soufflante ne devait pas avoir moins de $\frac{1}{20}$ du diamètre du cylindre, lors même que sa longueur est réduite au stricte nécessaire, c'est-à-dire lorsque la chape du parallélogramme qui conduit cette tige approche le plus près possible de la boite à étoupe du couvercle.

Ordinairement, on excède ce rapport, et l'on donne à la tige un diamètre de $\frac{1}{17}$ à $\frac{1}{18}$ de celui du cylindre; mais alors on peut accroître sa longueur sans inconvénient, si la disposition de la machine l'exige.

Force motrice nécessaire. On doit entendre ici par force motrice nécessaire l'effet utile transmis au piston par le moteur, quel qu'il soit, ou la force motrice qui devrait être immédiatement appliquée à la tige du piston, sans perte aucune. Elle doit vaincre la résistance opposée par l'air comprimé et le frottement de la garniture du piston, lequel n'est susceptible de calcul exact que dans le cas d'une garniture autoclave.

Cette espèce de garniture est ordinairement disposée de manière que le frottement s'exerce sur une hauteur de 25 à 30 millimètres, et, en comptant sur cette dernière hauteur comme maximum, la force motrice nécessaire est donnée par la formule

$$N = 2{,}3\,V \frac{h}{0{,}76 + h} + 0{,}08525\,D\,l\,n\,(0{,}76 + h) \text{ (1)}$$

(1) Voici comment on parvient à cette formule :

La quantité d'action consommée pour chasser l'air se mesure par le produit du poids de cet air et de la hauteur génératrice de sa vitesse d'écoulement. Désignant donc par V le volume d'air lancé par minute, ramené à la température zéro, et mesuré en mètres cubes; par P le poids d'un mètre cube de cet air; par H la hauteur de colonne d'air qui produirait la vitesse d'écoulement, V P H sera la quantité d'action consommée par la seule expulsion de l'air pendant une minute.

Il faut y ajouter la quantité d'action consommée par le frottement du piston pendant le

dans laquelle N est le nombre de chevaux de force, V le nombre de mètres cubes d'air lancés par minute et ramenés à la température zéro, h la hauteur manométrique, D le diamètre du cylindre soufflant, l la course du piston, et n le nombre de courses productives par minute.

Soit, par exemple, à déterminer la force à appliquer à la machine soufflante dont on a calculé les dimensions (page 186), chassant 100 mètres cubes d'air par minute, sous une pression manométrique de 10 centimètres.

On a ici, $V = 100$; $h = 0,10$; $D = 1^m756$; $ln = 60^m$; et la formule donne $N = 26,75 + 7,73 = 34,58$ chevaux de force.

Les constructeurs comptent ordinairement 0,3 de cheval par mètre cube d'air à fournir, à la température moyenne, et sans avoir égard aux variations de pression manométrique : ainsi, dans le cas ci-dessus, ils donneraient à la machine motrice une force effective de 30 chevaux seulement; mais cette règle n'est assez exactement applicable que pour des pressions moyennes de 7 à 8 centimètres. Au-dessous de ces pressions, elle pèche par excès; au-dessus, elle pèche par défaut.

même temps, laquelle a pour mesure le frottement exercé par la garniture en vertu de la pression de l'air comprimé, multiplié par le chemin que parcourt le piston dans une minute. Or, D étant le diamètre du cylindre, e la hauteur frottante de garniture exprimés en mètres, p la pression de l'air comprimé sur un mètre carré, f le coefficient de frottement, $\pi Defp$ exprime la résistance opposée par le frottement; et, l étant la longueur de la course, n le nombre de courses par minute, ln est le chemin parcouru pendant ce temps; on a donc pour quantité d'action consommée, $\pi Defpln$.

Si N représente le nombre de chevaux de force qu'il faudrait appliquer à la tige, calculés à raison de 75 kil. élevés à 1^m par seconde, 4500 N sera la quantité d'action à fournir par minute, laquelle doit être égale à la somme des quantités d'action consommées; d'où l'on déduit l'équation

$$4500\,N = VPH + \pi Defpln.$$

H (page 178, note) est égal à $\frac{bdh}{b+h}$; $P = 1^k,3$ (page 68); $f = 0,30$ en moyenne; la pression p est à la pression atmosphérique dans le rapport de $b + h$ à b : ainsi, la pression atmosphérique étant de 1^k0312 par centimètre carré (page 176), ou de 10312^k par mètre carré, on a $p = 10312 \frac{b+h}{b}$. La formule devient donc

$$4500\,N = 1,3\,V \frac{bdh}{b+h} + 10312\,\pi Def \frac{b+h}{b}.$$

Faisant dans cette formule $b = 0,76$, $d = 10466$, $e = 0,03$, $f = 0,30$; effectuant les opérations indiquées et divisant par 4500, on obtient comme il est indiqué dans le texte :

$$N = 2,3\,V \frac{h}{0,76+h} + 0,08525\,Dln\,(0,76 + h).$$

La formule, supposant la pression constante dans toute la course du piston, semblerait devoir donner un résultat un peu trop fort; mais si la pression initiale est moindre que l'indique la hauteur moyenne du manomètre, d'un autre côté, lorsque l'air est une fois comprimé, la pression dans le cylindre excède un peu celle qui a lieu dans le régulateur, et ces deux effets se compensent à peu de chose près.

Régulateurs à eau. Dans l'établissement des régulateurs à eau, il faut déterminer la hauteur de la colonne d'eau comprimante d'après la pression manométrique moyenne sous laquelle l'air doit être chassé. Cette hauteur est donnée par le tableau de la page 177 pour toutes les pressions exprimées par un nombre entier de centimètres, et son expression générale en mètres est (page 176) $a = 13,57\,h$, dans laquelle a est la hauteur d'eau, et h la hauteur manométrique en mètres.

Pour avoir la hauteur de colonne comprimante qui correspond à une hauteur manométrique $h = 0^{m}117$, il suffit donc de multiplier 13,57 par 0,117, et l'on aura $a = 1^{m}59$.

Il faut observer que la nappe d'eau intérieure ne doit jamais pouvoir s'abaisser jusqu'aux bords de la caisse du régulateur; et pour que le vent ne puisse s'échapper par-dessous, dans les plus grandes variations de pression, il faut que la nappe intérieure les recouvre de 25 à 30 centimètres, lesquels sont à ajouter à la valeur trouvée pour a.

Régulateurs à piston flottant. Le poids du piston flottant doit être évidemment égal à la différence des pressions que l'air exerce sur ses deux surfaces, c'est-à-dire à la pression qui est due à la seule hauteur manométrique h. Or, cette pression est égale à $0^{k}013568$ par centimètre carré, pour une hauteur de mercure de 1 centimètre (page 176), ou de $1^{k}3568$ pour une hauteur de 1 mètre; la pression par mètre carré est donc de 13568 kil. pour une colonne de mercure de 1 mètre, et par conséquent de $13568^{k} \times h$ pour une hauteur h exprimée en mètres.

Dès lors, en désignant par Q le poids du piston, par s sa surface en mètres carrés, on aura $Q = 13568\,hs$ kil.

Soit à déterminer le poids du piston flottant d'un cylindre régulateur de 2 mètres de diamètre, la hauteur manométrique étant égale à $0^{m}10$.

La surface du piston est égale à $3^{m.c.}1416$, et l'on a

$$Q = 13568 \times 0,10 \times 3,1416 = 4263 \text{ kil.}$$

Le piston, avec sa tige et ses ferrures, ne pouvant atteindre le poids

voulu, on le charge avec du plomb, que l'on coule aussi également que possible sur toute la surface.

SECTION XI.

DES APPAREILS A CHAUFFER L'AIR, ET DES EFFETS DE L'AIR CHAUD SUR LA FONTE.

Appareil de la Clyde. Dans l'origine de l'emploi de l'air chauffé pour alimenter les hauts-fourneaux, et après divers essais, on avait adopté à l'usine de la Clyde, près Glascow (Écosse), un système de chauffage consistant en tuyaux de fonte disposés en long, et sur une seule ligne horizontale, dans un long canal voûté, formant une espèce de four à réverbère à plusieurs foyers, distribués le long de sa sole. Ces tuyaux aboutissaient d'un côté à la grille d'un four placé près de l'embrasure de chaque tuyère, et de l'autre à la cheminée. On faisait entrer l'air froid par ce dernier côté, et cet air, marchant dans les tuyaux en sens inverse des produits de la combustion, s'échauffait graduellement en avançant vers le dernier foyer.

Les tuyaux étant chauffés au rouge dans le voisinage de ce foyer, l'air acquérait une très haute température vers la fin de son trajet, et, s'échappant latéralement vis-à-vis des tuyères, il était introduit dans le fourneau.

Afin d'obvier aux effets de la dilatation, et de faciliter les mouvemens qui en résultaient dans la longueur des tuyaux, ces derniers étaient portés sur des rouleaux en fonte, et assemblés, de distance en distance, au moyen d'emboîtemens formant des joints mobiles ou compensateurs. A cet effet, l'emboîtement était alésé, et le bout du tuyau tourné pour y entrer à frottement doux.

Malgré ces précautions, on dut abandonner bientôt cet appareil, qui, outre sa cherté, offrait les inconvéniens suivans :

Les joints compensateurs, après peu de temps, ne jouaient plus s'ils étaient justes, et on ne pouvait leur laisser de jeu sans avoir des fuites d'air, et sans s'exposer à l'entrée des gaz carbonés dans les tuyaux, si l'on était obligé de suspendre l'action de la machine soufflante.

La dilatation, exerçant son action comme si tous les tuyaux avaient été joints à brides, détruisait les maçonneries des fours; ou si ces dernières pouvaient résister, elle faisait briser les tuyaux.

Enfin les parties de tuyaux voisines des foyers étant toujours rouges se détruisaient promptement, quoique revêtues d'un corroi de terre argileuse sur une longueur de 4 ou 5 mètres.

Avec ces appareils, on élevait facilement la température de l'air à 320 et même à 350 degrés centigrades; mais à cause des fréquentes réparations, il était impossible d'obtenir une marche suivie dans les fourneaux.

Les tuyaux employés variaient, selon le volume d'air à chauffer par minute, de 32 à 47 centimètres de diamètre intérieur, et on leur donnait de 27 à 30 millimètres d'épaisseur. Le diamètre des tuyaux était uniforme, et, dans cette disposition, il fallait un accroissement de force motrice d'environ $\frac{1}{10}$ pour vaincre les frottemens de l'air chaud, quoique la pression de cet air fût moindre que celle employée à l'air froid, dans le rapport de 25 à 30.

Appareil de Calder. A l'appareil de l'usine de la Clyde succéda celui qui fut construit à l'usine de Calder (Écosse), et dans lequel on évita les inconvéniens précédemment signalés, en rendant la dilatation libre et indépendante pour chaque partie de l'appareil, et en empêchant autant que possible son action sur la maçonnerie du four.

Ce système de chauffage, représenté Pl. 31, *fig.* 5 à 8, se compose d'un four à réverbère élevé, dans lequel sont placés horizontalement et parallèlement entre eux deux gros tuyaux droits AA, A' A', *fig.* 5, portant chacun neuf tubulures; sur ces tubulures sont assemblés à emboîtement des tuyaux siphons T T, *fig.* 6 et 7, placés verticalement, et établissant la communication entre les deux gros tuyaux. Ces derniers sont garantis d'une trop forte action du foyer par un revêtement en briques réfractaires *v*, *v*, tandis que les autres tuyaux sont chauffés à nu.

L'air froid arrive par l'extrémité de l'un des gros tuyaux, traverse les siphons, qui sont plongés dans une atmosphère ardente, et sort à une haute température par l'extrémité de l'autre gros tuyau opposée à celle par laquelle il est entré.

Afin que toute la capacité du four soit bien chauffée, les produits de la combustion s'échappent par des ouvertures réservées à la partie supérieure, et de là se rendent dans la cheminée par un conduit commun.

Cet appareil chauffe très bien l'air, et le porte facilement à 300 ou 325 degrés centigrades; mais on lui reproche d'exiger une plus grande force motrice, à cause de la contraction que l'air éprouve aux tubulures et aux coudes, et du surcroît de frottement qu'occasionnent le grand développement et le petit diamètre des siphons. Ces inconvéniens ne peuvent être entièrement évités, mais on peut du moins les diminuer beaucoup en proportionnant convenablement les sections des tuyaux, ainsi qu'on le verra plus loin.

Appareil Taylor. La disposition de l'appareil de M. P. Taylor, représentée par les *fig.* 1 à 4, Pl. 31, ne diffère de celle du système de Calder qu'en ce que les tuyaux siphons de ce dernier sont remplacés par des tuyaux courbés en demi-cercle. Le but de cette disposition paraît être principalement de concentrer la chaleur en réduisant le volume du four, et de la faire rayonner fortement de la voûte vers les tuyaux. Ce but est non seulement atteint, mais encore quelquefois dépassé; car il arrive que les parois intérieures du four s'élèvent jusqu'à la température rouge-blanc, et que les tuyaux courbes qui reçoivent le rayonnement direct du foyer se brûlent et éprouvent un commencement de fusion. On éviterait facilement cet inconvénient en donnant un peu plus de hauteur à ces tuyaux.

L'appareil Taylor, ainsi que celui de Calder, se place près des embrasures de tuyères, et on en établit un pour chaque buse à alimenter; mais, en lui donnant des proportions convenables, un seul appareil peut suffire pour deux et même pour trois tuyères. Il en résulte économie de construction et plus d'emplacement libre autour des fourneaux. Il est d'ailleurs très rare que l'on fasse usage de trois tuyères en employant l'air chaud, et cette circonstance rend plus facile l'emploi d'un seul four.

M. Taylor a réalisé cette idée, et a eu de plus celle de chauffer son appareil par la flamme du gueulard, en le plaçant sur le haut-fourneau. Ce système a été appliqué avec succès à plusieurs hauts-fourneaux alimentés au charbon de bois, et il paraît même qu'il convient surtout à ce genre de fourneaux, soit parce qu'il n'exige pas alors de trop fortes dimensions, soit à cause que les fourneaux au charbon de bois donnent proportionnellement plus de chaleur au gueulard que les hauts-fourneaux au coke.

Les *fig.* 1 à 3, Pl. 32, représentent une de ces dispositions. L'air qui vient du régulateur, ou de la machine soufflante même, entre dans les tuyaux, et y circule comme on l'a dit précédemment; puis il est ramené

aux tuyères, en descendant le long des parois extérieures du fourneau, par des tuyaux que l'on a soin d'envelopper, pour qu'ils éprouvent moins de refroidissement.

Dans les constructions neuves, on peut ménager dans le massif des maçonneries des renfoncemens ou canaux ouverts pour y loger les tuyaux; on n'a plus alors qu'à recouvrir leur surface extérieure.

M. Taylor a quelquefois adopté une disposition différente de celle qu'on a représentée. Au lieu de construire le four sur le gueulard même, et d'exposer ainsi les premiers tuyaux à l'action directe de la flamme, il le construit à côté, à peu près comme le représentent les *fig.* 2 à 6, Pl. 33; l'ouverture du gueulard est alors parfaitement libre, les gaz enflammés se précipitent dans la bouche du four par l'appel que fait la cheminée, et le chauffage est aussi complet et peut-être plus uniforme que dans l'autre disposition. Celle-ci a d'ailleurs l'inconvénient grave de ne pas laisser la possibilité de réparer l'appareil au besoin.

On conçoit que l'appareil de Calder peut se prêter exactement aux mêmes dispositions, en plaçant la cheminée sur le four lui-même.

Avec les fours à grilles de M. Taylor, on peut atteindre jusqu'à 350 degrés centigrades; et par le chauffage au gueulard, l'air acquiert une température de 250 à 280 degrés.

Appareil de Wasseralfingen. Le haut-fourneau de Wasseralfingen (Wurtemberg), marchant au charbon de bois, est pourvu d'un système de chauffage d'air par la chaleur du gueulard, représenté par les *fig.* 4 à 10, Pl. 32.

Le four laisse le gueulard entièrement découvert, et contient 16 tuyaux en fonte de 155 millimètres de diamètre intérieur. Des coudes établissent la communication entre tous ces tuyaux, qui forment ainsi une espèce de serpentin.

L'air froid arrive de la machine soufflante, et monte dans l'appareil par les tuyaux CC, *fig.* 4, pénètre dans le four par le tuyau n° 1, *fig.* 8, parcourt successivement tous les tuyaux dans l'ordre indiqué par les n°s 1 à 16, sort par le tuyau n° 16, et descend par la conduite DD jusqu'à la hauteur des buses; là, cette conduite se divise en deux parties, aboutissant chacune à l'une des tuyères *t* et *t'*.

A l'extrémité de la conduite DD se trouve une boîte à vent *p*, pourvue de deux registres *r* et *r'*, l'un placé au-dessus des tuyaux qui conduisent aux buses, l'autre placé au-dessous. En fermant le registre inférieur, l'air

est obligé de s'élever dans l'appareil, et l'on marche au vent chaud; en fermant le registre supérieur et ouvrant le registre inférieur, on marche à l'air froid. Dans ce dernier cas, il faut avoir soin de fermer la porte du four au moyen des registres disposés à cet effet, afin que les tuyaux dans lesquels l'air est stagnant ne se brûlent pas.

Avec cet appareil, dont les tuyaux se maintiennent ordinairement au rouge-brun, on chauffe l'air jusqu'à 168 degrés centigrades, ou 210 degrés Réaumur; mais plus habituellement on marche à 160 degrés centigrades, ou 200 degrés Réaumur. Il est probable qu'on obtiendrait un plus haut degré de chaleur si l'air, au lieu de varier sans cesse de température en montant et descendant alternativement, arrivait par la partie supérieure, passait successivement dans chaque rangée horizontale, et s'échappait par l'un des tuyaux de la rangée inférieure.

En plaçant l'appareil sur le gueulard même, comme on l'a fait à Ancy-le-Franc (Yonne), on obtient une température de 260 à 300 degrés centigrades à la tuyère, et même de 322 à 340 degrés, ainsi que cela a lieu à Hayange (Moselle).

Du reste, avec l'appareil et la disposition de Wasseralfingen, on a chauffé l'air dans cette usine jusqu'à plus de 200 degrés. La température obtenue dépend de la quantité d'air que l'on introduit dans le four pour brûler les gaz sortant du gueulard.

Cet appareil a deux inconvéniens : le premier résulte des coudes nombreux que l'air doit parcourir, et qui obligent à dépenser au moins un cinquième de force motrice de plus qu'en soufflant à l'air froid; le second gît dans la difficulté de nettoyer les tuyaux sur tout leur pourtour, et alors ils se couvrent de cadmies, qui s'opposent à la libre transmission de la chaleur au travers de leurs parois. Du reste, cet inconvénient est inhérent plus ou moins à tous les appareils chauffés par le gueulard. On a cherché à l'éviter en disposant les tuyaux verticalement; mais outre qu'il subsiste encore en partie, il paraît que les surfaces verticales transmettent moins bien la chaleur, et on perd plus de ce côté qu'on ne gagne de l'autre.

Le nettoyage des tuyaux doit se faire tous les quinze jours au moins.

Un inconvénient commun à tous les appareils chauffés par le gueulard, c'est que la température de l'air est subordonnée à l'allure du fourneau : si celui-ci est embarrassé, l'échauffement diminue immédiatement et dans le moment même où l'on aurait besoin de projeter de l'air plus échauffé pour rétablir la marche; mais on remédie à cette difficulté en faisant brûler

quelques fagots de bois dans le four qui contient les tuyaux, jusqu'à ce que le fourneau ait repris son allure ordinaire.

On aurait pu citer un plus grand nombre d'appareils à chauffer l'air *dans des tuyaux*, mais ceux que l'on a indiqués sont encore, malgré leurs imperfections, ceux qui donnent les meilleurs résultats; et, parmi eux, l'appareil Taylor et celui de Calder méritent la préférence. Il est très probable qu'en employant des tuyaux siphons plus élevés que dans le premier système, moins longs que dans le second, on éviterait la majeure partie des inconvéniens de l'un et de l'autre.

Appareil à gaz carbonés. Dans les appareils qu'on vient de décrire, l'air atmosphérique est isolé du combustible employé à l'échauffer, et il arrive dans le haut-fourneau sans aucune altération. M. Cabrol, ancien directeur des usines de Decazeville (Aveyron), a eu l'idée de substituer à l'air échauffé dans son état ordinaire un mélange d'air atmosphérique et de gaz produits par la combustion de la houille, élevés à une haute température. Il a imaginé, dans ce but, un appareil ingénieux et des plus simples, qu'il a désigné sous le nom d'appareil *à gaz carbonés* ou *à gaz réducteurs*.

Il consiste, pour les fourneaux à combustible minéral, en un foyer placé dans une caisse en fonte, communiquant par le bas avec le régulateur de la soufflerie, et par le haut aux porte-vent du fourneau. L'air fourni par la machine traverse ce foyer incandescent, et s'y décompose en partie, en s'échauffant plus ou moins, selon la rapidité de son passage, la surface de la grille et la quantité de combustible qui s'y trouve accumulée; de là, il se rend immédiatement dans le fourneau.

Le foyer et sa caisse sont renfermés dans une chambre en fonte, disposée de manière à ce que l'ouvrier chargé du service de l'appareil puisse y pénétrer à volonté, soit pour jeter le combustible sur la grille, soit pour le dégager des cendres qui peuvent l'obstruer.

Pour les fourneaux au charbon de bois, l'appareil est beaucoup plus petit; M. Cabrol l'a réduit à la caisse contenant le foyer, et alors l'ouvrier introduit le combustible, au moyen d'une trémie à double tiroir. La cendre se vide à chaque coulée lorsque l'action de la soufflerie est suspendue.

Cet appareil, employé à Alais (Gard) dès 1834, et adopté aux fourneaux de Decazeville (Aveyron) en 1836, donne de bons résultats. La production de fonte est au moins double de ce qu'elle était à l'air froid, sans altérer et même en améliorant la qualité de la fonte; il permet de mélanger au coke une quantité de houille qui a pu être portée sans inconvénient

jusqu'aux deux tiers de la charge en poids, dans les fourneaux d'Alais. Dans cette usine, ainsi qu'à Decazeville, l'économie de combustible dans le haut-fourneau est de 40 à 45 pour 100; l'économie de castine, peu sensible à Alais, est de 20 à 25 pour 100 à Decazeville. Enfin on a obtenu une diminution de 30 à 40 pour 100 sur la main-d'œuvre, et de 45 à 50 pour 100 sur les frais généraux de machines et d'outils, par suite du doublement de la production.

Ce système fut appliqué, en 1834, au fourneau de Chèvres (Nièvre), marchant au charbon de bois, et depuis lors à d'autres fourneaux du même genre. Les résultats n'ont pas été publiés, et paraissent devoir être peu avantageux, puisque les appareils ont été démontés dans quelques usines.

On publiera par la suite cet appareil, dont M. Cabrol s'est assuré le privilége par un brevet.

L'appareil à gaz carbonés, comme tous les appareils à air chaud en général, paraît donc être surtout d'une application plus avantageuse aux fourneaux à combustible minéral; mais il a sur les systèmes de chauffage à tuyaux l'avantage de n'exiger aucune dépense notable pour son entretien, et de fonctionner avec régularité.

Observations sur l'emploi des appareils à chauffer l'air.

Avec tous les appareils à chauffer l'air, il est essentiel de n'employer que de bonnes tuyères à eau en tôle forte; les tuyères ordinaires ou les tuyères à eau en fonte se dégradent trop promptement, et exigent d'être changées trop souvent, ce qui nuit à la marche du fourneau. L'air froid ne doit pas pénétrer par les tuyères, et il faut boucher avec de l'argile réfractaire tout l'intervalle qui existe entre leurs parois intérieures et la buse.

Avec les appareils ordinaires, il ne faut pas arrêter les machines soufflantes pendant la coulée, afin de ne pas brûler les conduits d'air; ou si l'on est obligé de le faire, il faut enlever le combustible des foyers et fermer tout accès à l'air froid, pour ne pas faire fendre les tuyaux.

Il est dangereux d'arrêter les machines soufflantes si les tuyaux sont fendus ou si les joints laissent échapper l'air, parce que, pendant ce repos, le gaz hydrogène carboné produit par la combustion de la houille pénètre dans tous les tuyaux; et au moment où la machine est remise en mouvement, l'air, se combinant avec le gaz, peut produire une explosion. C'est ce qui est arrivé avec un appareil de Calder, dans l'une des usines de la Sambre, où tous les tuyaux furent brisés et volèrent en éclats.

Surface de chauffe, vitesse de l'air, consommation et effet utile du combustible dans les divers appareils à chauffer l'air.

Appareil de la Clyde. Les hauts-fourneaux de la Clyde marchent à la houille crue et sont alimentés d'air chaud par deux tuyères. L'appareil est chauffé par cinq foyers, dont deux placés vis-à-vis des tuyères.

D'après les observations faites par MM. Élie de Beaumont et Dufrénoy, en février 1833, on a les données suivantes :

Longueur des tuyaux chauffés pour un fourneau	45^{m} 75
Diamètre intérieur et uniforme de ces tuyaux..........................	o 48
Diamètre extérieur..	o 54
Volume d'air froid ramené à la température zéro, pour chaque fourneau, par minute...	59^{mc} 360 (1)
Température de l'air chaud..	322 deg. cent.
Pression de l'air en mercure......................................	0^{m} 13
Houille brûlée par minute dans l'appareil.........................	$2^{kil.}$ 47
Produit en fonte par 24 heures	9000^{kil}

D'où l'on déduit :

Section intérieure des tuyaux	0^{mq} 1590
Circonférence extérieure desdits	1^{m} 70
Surface de chauffe	77^{mq} 78
Surface de la chauffe pour porter 1^{mc} d'air à 322° en une minute.....	1 31
Poids de l'air à chauffer par minute, calculé à 1^{k} 3 par mètre cube....	$77^{kil.}$ 168
Consommation de l'appareil par tonne de fonte.........................	384

Pour calculer la vitesse de l'air chaud dans les tuyaux, il faut évaluer le volume de cet air en ayant égard à sa température; mais il faut considérer que cette température n'est pas la même dans toute la conduite, et qu'elle n'atteint son maximum que dans le voisinage du point où l'air s'échappe, et dès lors il faut déterminer à peu près sa valeur moyenne pour en conclure le volume.

On manque d'observations pour calculer cette valeur; mais, d'après quelques inductions, il parait que dans le cas actuel on s'écarte peu de la réalité, en la prenant égale aux 0,75 de la température maxima. Elle serait donc égale ici à 241° 5.

(1) Ici et dans les calculs suivans on adopte la notation *mc* pour désigner des mètres cubes, et *mq* pour désigner des mètres carrés.

A cette température le volume d'air devient égal à 59,36 (1 + 0,004 × 241,5) = 116^{mc}346 par minute sous la pression atmosphérique ; et comme l'air chaud est soumis à une pression de 0^{m}13 en sus ou à une pression totale de 0^{m}89, il faut multiplier ce volume par $\frac{0,76}{0,89}$, ce qui le réduit à 99^{mc}360.

La moitié de cette quantité, soit 49^{mc}680 par minute ou 0^{mc}828 par seconde, est dévolue à chaque tuyère et parcourt les tuyaux correspondans dont la section est égale à 0^{mq}1590. Divisant donc 0,828 par 0,1590 on a 5^{m}21 pour vitesse approximative par seconde de l'air chaud dans les tuyaux.

Avant de calculer l'effet utile du combustible dans cet appareil, il est nécessaire de faire connaître quelques données de physique sur lesquelles ce calcul repose.

On nomme *calorie* ou *unité de chaleur* la quantité de chaleur nécessaire pour élever 1^{kil} d'eau de un degré centigrade ; et par de nombreuses expériences, on a trouvé qu'un kilogramme de houille développait 6000 calories, c'est-à-dire qu'il peut, par sa combustion, élever 6000 kil. d'eau de un degré.

On sait, de plus, que la capacité de l'air pour la chaleur est environ quatre fois moindre que celle de l'eau, ou que la quantité de chaleur qui élèverait à une certaine température un poids donné d'eau élèverait à la même température un poids d'air quatre fois plus grand.

D'après ce, la consommation de houille par minute, dans l'appareil, étant de 2^{kil}47, le nombre de calories développé dans ce temps est de 2,47 × 6000 = 14820.

On chauffe par minute 77^{kil}168 d'air, ce qui équivaut à $\frac{77,168}{4}$ ou 19^{kil}292 d'eau élevée à 322°, ou encore à 19^{kil}292 × 322 = 6212 kil. d'eau chauffée d'un degré.

Ce nombre représente les calories absorbées par l'air, et le rapport $\frac{6212}{14820} = 0,42$, fait voir que cet appareil n'utilise que les 0,42 de la chaleur développée par le combustible.

Ce faible résultat tient surtout à la déperdition de chaleur par les parois du long canal qui renferme les tuyaux.

Ancien appareil de Vienne (*Isère*) (1). Cet appareil, construit dans le système de celui de la Clyde, a été abandonné et remplacé par le système

(1) Il a été publié dans le portefeuille du Conservatoire des Arts et Métiers (1834).

de M. Taylor. Il était chauffé par trois foyers, dont un placé près du régulateur, et les autres près de chaque tuyère. Voici les données y relatives :

Longueur de conduite chauffée, depuis le régulateur jusqu'à l'embranchement de celles des tuyères	8^{m} 40
Longueur des deux embranchemens jusqu'aux foyers des tuyères	21 60
Diamètre extérieur sur $8^{m}40$	0 50
Diamètre extérieur sur $21^{m}60$	0 30
Diamètre intérieur sur cette même longueur	0 26
Volume d'air froid par minute à zéro degré	39^{mc} 423
Température ordinaire de l'air chaud	300 deg. cent.
Pression moyenne de l'air en mercure	0^{m} 057
Houille brûlée par minute dans l'appareil	$1^{kil.}$ 35
Fonte produite en 24 heures	7000

D'où l'on déduit :

Section intérieure des petits tuyaux	0^{mq} 0531
Circonférence extérieure sur $8^{m}40$	1^{m} 570
Circonférence extérieure sur 21 60	0 942
Surface totale de chauffe	33^{mq} 54
Surface de chauffe pour 1^{mc} d'air élevé à 300° par minute	0 82
Poids de l'air à chauffer par minute	$51^{kil.}$ 25
Consommation de l'appareil par tonne de fonte	278

La température moyenne est ici $0{,}75 \times 300° = 225°$, et sous cette température, en ayant égard à la pression manométrique, le volume d'air chaud devient $39^{mc}423\,(1 + 0{,}004 \times 225)\,\frac{0{,}76}{0{,}817} = 69^{mc}666$.

Moitié de ce volume attribué à chaque tuyère par minute donne $0^{mc}581$ d'air par seconde passant dans chaque embranchement de petits tuyaux : la vitesse de l'air par seconde est donc $\frac{0{,}581}{0{,}0531} = 10^{m}94$.

Le nombre de calories développé par le combustible est égal à $1^{k}35 \times 6000 = 8100$; le chauffage de l'air en enlève $\frac{51{,}25}{4} \times 300 = 3844$. L'effet utile de l'appareil est donc $\frac{3844}{8100} = 0{,}475$ environ de la chaleur dépensée.

Appareil de l'usine de Calder. Le haut-fourneau de Calder est pourvu de deux appareils ; il était alimenté au coke avant l'emploi de l'air chaud, et depuis qu'on en fait usage on ne se sert plus que de houille crue.

Les données suivantes sont extraites ou déduites d'un rapport de M. Dufrénoy, et se rapportent aux deux appareils réunis.

Longueur ensemble des quatre gros tuyaux horizontaux, mesurée à l'intérieur du four	12^{m} 20
Diamètre extérieur de ces tuyaux	0 28
Diamètre intérieur desdits	0 23
Nombre des tuyaux siphons	18
Longueur développée de tous ces tuyaux	123 50
Diamètre extérieur desdits	0 152
Diamètre intérieur	0 0764
Volume d'air froid fourni par minute ramené à la température zéro	71^{mc}
Température de l'air chaud	322 deg. cent.
Pression moyenne de l'air en mercure	0^{m} 143
Houille brûlée par minute dans les appareils	$2^{kil.}$ 22
Fonte produite en 24 heures	8530

De là dérivent les nombres ci-après :

Somme des sections intérieures des deux gros tuyaux	0^{mq} 0832
Somme des sections intérieures de tous les siphons	0 0826
Circonférence des gros tuyaux	0^{m} 88
Circonférence de l'un des petits	0 477
Surface ensemble des gros tuyaux, en partie enveloppée de maçonnerie	10^{mq} 74
Surface ensemble des petits tuyaux	58 90
Surface totale de chauffe	69 64
Surface de chauffe pour 1^{mc} d'air élevé à 322°	0 98
Poids de l'air à chauffer par minute	$92^{kil.}$ 3
Consommation des appareils par tonne de fonte	375

On voit que dans cet appareil on s'est proposé de faire la somme des sections des siphons égale à la section des tuyaux d'arrivée et de sortie; et, prenant à peu près la moyenne entre les nombres ci-dessus, on admettra 0^{mq} 830 pour la section totale des passages de l'air.

Dans les appareils du genre de celui-ci, la chaleur étant concentrée dans le four, le rapport de la température moyenne de l'air à la température maxima est plus grand que pour les chauffages du système de la Clyde, et parait, d'après quelques observations, devoir être compris entre 0,80 et 0,87. On adoptera ici le rapport moyen 0,83.

Le volume moyen de l'air chaud sera donc, eu égard à la pression,

$$71^{mc}(1 + 0{,}004 \cdot 322 \cdot 0{,}83)\frac{0{,}76}{0{,}903} = 121^{mc}3$$ par minute, et par seconde $2^{mc}021$.

La vitesse de l'air chaud par seconde dans les tuyaux est alors de $\frac{2,021}{0,083} = 24^{m}35$, vitesse considérable qui oblige à un accroissement de force motrice de $\frac{1}{7}$ environ.

Le nombre de calories que fournit le combustible par minute est de $2,22 \times 6000 = 13320$; l'air en enlève dans le même temps $\frac{92,3}{4} \times 322 = 7430$.

Effet utile de l'appareil, $\frac{7430}{13320} = 0,555$.

Appareils de Lavoulte. On avait d'abord établi pour les hauts-fourneaux de Lavoulte des appareils d'un système analogue à celui de la Clyde. On les supprima pour les remplacer par des appareils du système de Calder. Il y en a deux pour chaque fourneau, disposés comme l'indique la Pl. 31, *fig.* 5 à 8.

Lorsqu'on marchait à l'air froid, chaque fourneau produisait en moyenne 7000 kilogrammes de fonte par 24 heures, la consommation de coke s'élevait à 275, et celle de castine à 91 pour 100 de fonte en poids. Depuis l'emploi des appareils du système de Calder, chauffant l'air de 190 à 210 degrés en marche ordinaire, on obtient en moyenne 9600 kilog. de fonte et de fonte meilleure; la consommation de coke est réduite à 130, et celle de castine à 58 pour 100 de fonte.

En chauffant l'appareil à 300 degrés, on a obtenu jusqu'à 14000 kilog. de fonte par jour, avec une consommation de 110 de coke pour 100 de fonte. Cette marche ne pouvait être soutenue parce qu'elle accélérait trop les dégradations des fourneaux.

En ne considérant que l'un des appareils d'un fourneau et lui appliquant la moitié du volume d'air et des consommations, on a les données suivantes :

Longueur ensemble des deux gros tuyaux	4^{m}	08
Diamètre extérieur de ces tuyaux	0	342
Diamètre intérieur desdits tuyaux	0	272
Nombre de tuyaux siphons	9	
Longueur développée de tous les siphons	63	00
Diamètre intérieur des siphons	0	10
Diamètre extérieur des siphons	0	16
Volume d'air froid par minute, à zéro, pour une tuyère	35^{mc}	
Température moyenne de l'air chaud	200 deg. cent.	

Pression moyenne de l'air en mercure	0^m 081
Houille brûlée par minute dans un appareil	0^k 9
Fonte produite en 24 heures	9600

On déduit de là :

Section intérieure d'un gros tuyau	0^{mq} 0581
Somme des sections des siphons	0 0707
Circonférence extérieure des gros tuyaux	1^m 074
Circonférence de l'un des siphons	0 503
Surface ensemble des gros tuyaux	4^{mq} 38
Surface ensemble des siphons	31 69
Surface totale de chauffe	36 07
Surface de chauffe pour 1^{mc} d'air élevé à 200 degrés centigrades	1 03
Poids de l'air à chauffer par minute	45^k 5
Consommation totale de houille par tonne de fonte	270

Adoptant le précédent rapport pour établir la température moyenne, le volume de l'air chaud comprimé sera

$35^{mc}(1 + 0{,}004 \cdot 200 \cdot 0{,}83)\frac{0{,}76}{0{,}841} = 52^{mc}633$ par minute, et par seconde $0^{mc}877$.

La vitesse de l'air chaud dans les siphons est donc de $\frac{0{,}877}{0{,}0707} = 12^m40$ par seconde ; elle est un peu plus grande dans les gros tuyaux dont la section est moindre. Le nombre d'unités de chaleur développées par le combustible en une minute est de $0{,}9 \times 6000 = 5400$; l'air en absorbe $\frac{45{,}5}{4} \times 200 = 2275$: ainsi la quantité de chaleur utilisée est de $\frac{2275}{5400} = 0{,}421$ de la chaleur produite.

Les parois des fours ont trop peu d'épaisseur, et la déperdition de chaleur est assez considérable.

Appareil du Janon, près Saint-Etienne (Loire), système *Taylor*. Chaque fourneau est pourvu de deux appareils, alimentant chacun une tuyère. Les données relatives à un appareil sont :

Longueur ensemble des deux gros tuyaux à l'intérieur du four	7^m 30
Diamètre extérieur de ces tuyaux	0 41
Diamètre intérieur desdits	0 36
Longueur développée de tous les tuyaux courbes	24
Diamètre intérieur de ces tuyaux	0 13
Diamètre extérieur desdits	0 18

Volume d'air froid par minute et à zéro, pour une tuyère	34^{mc}
Température de l'air chaud	300 deg cent.
Pression moyenne de l'air en mercure	0^{m} 076
Houille brûlée par minute dans l'appareil	$1^{kil.}$
Fonte produite en 24 heures	10000

D'où l'on déduit :

Section intérieure d'un gros tuyau	0^{mq} 102
Somme des sections des tuyaux courbes	0 106
Circonférence extérieure des gros tuyaux	1^{m} 288
Circonférence de l'un des tuyaux courbes	0 565
Surface ensemble des gros tuyaux	9^{mq} 40
Surface ensemble des tuyaux courbes	13 56
Surface totale de chauffe	22 96
Surface de chauffe pour 1^{mc} d'air élevé à 300 degrés	0 734
Poids de l'air à chauffer par minute	$44^{kil.}$ 2
Consommation totale de houille par tonne de fonte	288

Le volume d'air chaud comprimé est ici de $34\,(1 + 0{,}004 \,.\, 300 \,.\, 0{,}83)\,\frac{0{,}76}{0{,}836} = 68^{mc}\,67$ par minute, ou de $1^{mc}\,144$ par seconde.

La vitesse de l'air chaud dans les tuyaux courbes est donc de $\frac{1{,}144}{0{,}106} = 10^{m}\,80$ par seconde.

L'effet calorifique du kilog. de houille brûlée par minute est de 6000 calories, et l'air en emporte $\frac{44{,}2}{4} \times 300 = 3315$.

Effet utile du combustible $\frac{3315}{6000} = 0{,}552$.

Cet appareil est construit dans le genre de celui qui est représenté Pl. 31, *fig.* 1 à 4.

Autre appareil Taylor. M. Pouillet a publié, dans le *Portefeuille du Conservatoire des Arts et Métiers*, les dispositions et les données relatives à un appareil destiné à chauffer 800 pieds cubes d'air (27^{mc}) par minute à la température de 300 degrés. On rapporte ici ces données pour en déduire les surfaces de chauffe et la vitesse de l'air, en suivant la même marche que précédemment.

Longueur ensemble des gros tuyaux dans le four	7^{m} 20
Diamètre extérieur de ces tuyaux	0 36
Diamètre intérieur	0 31
Longueur développée des 8 tuyaux courbes	11 60

Diamètre intérieur de ces tuyaux	0 12
Diamètre extérieur	0 17
Volume d'air à chauffer	27^{mc}
Température que doit avoir l'air	300 deg. cent.

D'où :

Section intérieure d'un gros tuyau	0^{mq} 0753
Somme des sections des tuyaux courbes	0 088
Surface ensemble des gros tuyaux	8
Surface des 8 tuyaux courbes	11 60
Surface totale de chauffe	19 60
Surface de chauffe pour 1^{mc} élevé à 300° par minute	0 725
Poids de l'air à chauffer pendant ce temps	$35^{kil.}$ 1

Le volume d'air chaud est ici de $27(1 + 0,004 . 300 . 0,83) = 353^{mc} 892$ par minute, ou de $0^{mc} 898$ par seconde.

La vitesse de cet air est donc de $\frac{0,898}{0,088} = 10^{m}25$ par seconde.

La chaleur que doit emporter l'air produit, est ici $\frac{35.1}{4} \times 300 = 2632$ calories.

Appareil de Wasseralfingen, chauffé par la flamme du gueulard. Les fourneaux de Wasseralfingen (Wurtemberg) ont deux tuyères et marchent au charbon de bois. L'air est chauffé par un appareil placé près du gueulard, comme l'indiquent les *fig.* 4 à 9, Pl. 32. Les appareils des deux fourneaux ne sont pas tout-à-fait de même dimension, et l'on rapporte ici les données relatives à celui qui offre le plus de surface de chauffe, et qui présente les résultats le plus réguliers.

La température de l'air varie de 135 à 170 degrés centigrades; mais en marche ordinaire, elle se maintient assez bien à 160°. A cette température, les produits sont de 5130 kilogrammes de belle fonte grise par 24 heures, et la consommation est de 113 pour 100 de fonte, d'un mélange de charbon de hêtre et de charbon de sapin, dans la proportion d'environ 5 du premier pour 4 du second, en poids.

On a les données suivantes :

Longueur ensemble des 16 tuyaux chauffés à nu	25^{m} 28
Diamètre extérieur de ces tuyaux	0 201
Diamètre intérieur desdits	0 155
Volume d'air froid par minute et à zéro	28^{mc}
Température de l'air chaud	160 deg. cent.

Pression de l'air en mercure	0^m 03

D'où :

Section intérieure des tuyaux	0^{mq} 0186
Circonférence extérieure desdits	0^m 6283
Surface totale de chauffe	15^{mq} 71
Surface de chauffe pour 1^{mc} d'air élevé à 200 degrés	0 56
Poids de l'air à chauffer par minute	36^{kil} 4

Le volume de l'air devient, après avoir été chauffé,

$28^{mc} (1 + 0{,}004 . 160 . 0{,}83) \frac{0{,}76}{0{,}79} = 41^{mc} 245$ par minute, soit $0^{mc} 687$ par seconde.

La vitesse de l'air dans les tuyaux est donc de $\frac{0{,}687}{0{,}0186} = 37^m$ environ par seconde, vitesse très grande, et qui explique l'augmentation considérable de force motrice indiquée dans la précédente description de l'appareil.

La quantité de chaleur communiquée à l'air est de $\frac{36{,}4}{4} \times 160 = 1440$ calories.

On aurait désiré pouvoir comparer aux résultats de cet appareil ceux que donnent les appareils Taylor chauffés par le gueulard, mais on n'a pu le faire faute de renseignemens suffisans.

Appareil à gaz carbonés. Dans ces appareils, on a surtout à considérer la consommation de combustible, la température à laquelle l'air peut s'élever, et la portion d'air décomposée par la combustion, afin de connaître celle qui peut agir dans le haut-fourneau.

Les expériences suivies et rapportées par M. Thibaud, ingénieur des mines, nous fourniront les données suivantes, relatives à un appareil à gaz carbonés employé à l'usine d'Alais (Gard) :

Volume d'air fourni par la machine soufflante, par minute, et ramené à zéro.	77^{mc} 10
Consommation de houille dans l'appareil en 24 heures, au plus	2500^{kil}
Production moyenne de fonte dans le même temps	10000
Houille brûlée dans l'appareil par tonne de fonte	250
Houille brûlée par minute	1 74
Poids de l'air à chauffer par minute	100 23

On n'a pu mesurer directement la température de l'air ; seulement on a reconnu qu'elle était assez supérieure à celle du zinc fondant (370°), puisque des barres de ce métal, de 6 lignes de diamètre, présentées au trou d'essai

sur le porte-vent, fondaient instanément. On peut la déduire facilement de la quantité de houille employée, et qui était complétement brûlée, en considérant que, par la disposition de l'appareil, presque toute la chaleur fournie par le combustible doit passer nécessairement dans l'air.

On brûle 1^k74 de houille par minute, qui produisent $1,74 \times 6000 = 10440$ calories, et par conséquent, si t est la température cherchée, on aura d'après ce qui précède $\frac{100,23}{4} \times t = 10440$, d'où l'on tire $t = 416$ degrés centigrades, en supposant l'air pris à zéro degré. Si l'air, en sortant du régulateur est à 10 deg., sa température à l'issue du foyer sera de 426 deg. On peut atteindre à une température encore plus élevée, car, en augmentant un peu la charge en combustible, et fermant la porte de la chauffe, on fait rougir les porte-vents.

Sachant qu'un kilogramme de houille exige pour sa combustion complète $7^{mc}438$ d'air, il s'ensuit que le volume d'air décomposé par la combustion sera, en 24 heures, de $7,438 \times 2500 = 18595$ mètres cubes. Or, la quantité d'air qui traverse le foyer pendant le même temps est de $77^{mc}10 \times 60 \times 24 = 111024$ mètres cubes : ainsi, la quantité d'air décomposée est de 16,75 pour cent, ou $\frac{1}{6}$ environ de l'air lancé.

L'air décomposé étant impropre à la combustion dans le fourneau, on voit, d'après ce résultat, qu'il faut augmenter de $\frac{1}{6}$ le volume d'air que devrait fournir la machine soufflante en se servant d'appareils à chauffer l'air dans des tuyaux. Du reste, les gaz de la combustion ne paraissent nuire en rien à la marche du fourneau, et les derniers résultats constatés dans les usines de l'Aveyron confirment au contraire, de la manière la plus avantageuse, ceux que l'on a observés à Alais.

La comparaison de l'appareil à gaz carbonés avec les autres fait voir aussi qu'il est le plus économique et le plus puissant dans son effet calorifique.

Résumé et conséquences des résultats relatifs aux appareils chauffant l'air dans des tuyaux.

Quoique les résultats précédens soient peu nombreux, on peut cependant en déduire déjà quelques données utiles pour la pratique, en les comparant entre eux. Afin de rendre cette comparaison plus facile, on les a résumés dans le tableau suivant, en y ajoutant le nombre de calories transmises par mètre carré de surface chauffée en une minute et dans chaque appareil.

DÉSIGNATION DES APPAREILS.	VOLUME D'AIR à chauffer par minute, en mètres cubes.	TEMPÉRATURE de l'air chaud en degrés centigrades.	SURFACE TOTALE de chauffe en mètres carrés.	SURFACE par mètre cube d'air, en mètres carrés.	CALORIES transmises par minute.		VITESSE DE L'AIR par seconde, en mètres.	EFFET UTILE du combustible.	CONSOMMATION de combustible par tonne de fonte.
					Par la surface totale.	Par mètre carré.			
Système horizontal de la Clyde (Écosse).......	59,360	322	77,78	1,31	6212	79,90	5,21	0,042	384
De Vienne (Isère).	39,423	300	34,54	0,942	3844	114,60	10,94	0,475	278
Système de Calder, à Calder (Écosse).	71,00	322	69,64	0,98	7430	106,98	24,35	0,555	375
A Lavoulte (Ardèche)..........	35,00	200	36,07	1,03	2275	63,02	12,40	0,421	270
Système Taylor, à foyer, au Janon (Loire)........	34,00	300	22,96	0,734	3315	148,73	10,80	0,552	288
Autre appareil....	27,00	300	19,60	0,725	2632	134,28	10,25	»	»
Chauffage par le gueulard de Wasseralfingen (Wurtemberg........	28	160	15,71	0,56	1440	91,66	37,00	»	»
Idem...........	27	200	15,71	0,58	1655	105,34	39,54	»	»

On voit, par ce tableau, que le moindre effet utile du combustible a lieu dans l'appareil de la Clyde, et correspond à la plus petite vitesse de l'air en même temps qu'à la plus grande surface de chauffe par mètre cube. Ainsi, les grandes sections de tuyaux ne sont pas avantageuses.

L'appareil de Vienne (ancien) donnait de meilleurs résultats, avec une vitesse plus que double et une moindre surface de chauffe; et enfin l'appareil de Calder présente le plus grand effet utile avec une vitesse de plus de 24 mètres.

Une grande vitesse jointe à une petite section est donc ce qui vaut le mieux, sous le rapport de l'effet utile du combustible, mais elle a l'inconvénient d'augmenter la dépense de force motrice. Avec une plus grande section, on diminue la dépense du moteur, mais on augmente la consommation de l'appareil; d'où résulte qu'il doit y avoir une vitesse telle que la somme des dépenses devienne un minimum, et ce serait celle qu'il conviendrait d'employer.

L'appareil Taylor paraît atteindre ce double but, car il produit un effet utile et égal à celui de l'appareil de Calder, et n'exige qu'un très faible

accroissement de force motrice. Ainsi, une vitesse de 10 à 11 mètres par seconde paraît être la plus convenable pour chauffer l'air à 300 degrés environ, et dans ce cas on peut employer une surface de $0^{mq}75$ par mètre cube d'air à chauffer par minute. Cependant, une surface de $0^{mq}80$ nous paraît plus avantageuse, parce qu'alors le plus grand développement des tuyaux permet de les élever davantage, les préserve ainsi d'une aussi prompte détérioration, et qu'une plus grande surface de chauffe accroît l'effet utile du combustible.

Avec ces nombres, on pourrait compter au moins sur une transmission de 130 calories par mètre carré de chauffe et par minute, moyenne des résultats portés au tableau pour les appareils Calder et Taylor.

On ne s'est servi ici que des données des appareils qui peuvent porter l'air à 300 degrés et au-dessus, parce que cette température est celle que l'expérience a reconnue nécessaire pour obtenir de bons effets, et qu'avec des appareils calculés sur ces bases on peut toujours réduire la température, en brûlant moins de combustible.

Dans les appareils chauffés par le gueulard, on peut compter au moins sur une transmission de 105 calories par mètre carré de surface et par minute, ainsi que l'indique la dernière ligne du tableau, lorsque les appareils sont placés comme celui de Wasseralfingen, et sur une production au moins égale à celle que donnent les appareils à foyer, lorsqu'ils sont placés sur le gueulard même.

Bien que la vitesse de l'air dans les tuyaux ne soit pas un obstacle au chauffage, cependant, comme elle oblige à accroître la force motrice, et que très rarement on jouit de cette faculté, il serait préférable de la réduire à 20 ou 25 mètres au plus. L'accroissement de section qui en résulterait pour les tuyaux augmentant leur surface, on pourrait en diminuer le développement en longueur, et par suite le nombre des coudes.

Les variations de température du fourneau influant très sensiblement sur le chauffage de l'air, on remédierait en grande partie à cet inconvénient en augmentant un peu la surface de chauffe et en la portant à $0^{mq}60$ ou $0^{mq}65$ par mètre cube d'air à chauffer. Par ce moyen, la chaleur transmise ne subirait au moins qu'un plus faible abaissement.

Afin de ne pas ajouter aux résistances de l'air dans l'appareil une résistance aussi forte dans les tuyaux qui conduisent l'air aux tuyères, il conviendrait de régler la section de ceux-ci de manière à ce que l'air comprimé n'y prenne pas une vitesse de plus de 10 à 11 mètres par seconde.

Le périmètre réfrigérant devenant alors moindre par rapport à la section, on gagnerait encore à cette disposition, que l'air arriverait plus chaud dans le haut-fourneau.

Température des tuyaux chauffés. On n'a pas de moyen direct de mesurer la chaleur des foyers à haute température; mais, d'après les expériences de M. Pouillet, on peut l'évaluer approximativement par la couleur que prend un corps qui y est plongé.

D'après ce savant physicien,

Le rouge naissant correspondrait à	525 deg. cent.
Le rouge sombre......................	700
Le cerise naissant......................	800
Le cerise............................	900
Le cerise clair........................	1000
L'orange foncé........................	1100
L'orange clair.........................	1200
Le blanc.............................	1300
Le blanc éclatant......................	1400
Le blanc éblouissant ou soudant...........	1500 à 1600

On jugera donc de la température des fours et des tuyaux qu'ils contiennent par la couleur de ces derniers, et on peut tirer de là d'utiles indices pour gouverner le chauffage des appareils.

Établissement des appareils à tuyaux. Les dimensions d'un appareil étant déterminées d'après les bases précédentes, il faut le disposer de manière que la dilatation de chacune de ses parties soit libre et indépendante; réduire les coudes au plus petit nombre possible, en leur donnant un assez grand rayon de courbure, et faciliter l'évacuation de l'air aux tuyères par un accroissement de section, si les conduites ont un peu de longueur.

Dans la construction, il faut éviter le plus possible que la dilatation des tuyaux s'exerce sur les parois du four, afin de ne pas trop s'exposer à de fréquentes réparations; préserver les parties de tuyaux le plus rapprochées de la grille de l'action directe de la chaleur; placer les tuyaux à air chaud qu'il faudrait faire passer sous terre, dans des canaux en maçonnerie remplis de fraisil et simplement recouverts de terre grasse bien battue, afin qu'on puisse les visiter.

Les tuyaux extérieurs doivent être enveloppés, pour maintenir la température de l'air chaud.

Les joints doivent être faits avec beaucoup de soin. Ceux qui sont à

emboitement se font très solidement avec un mastic composé de sept parties de limaille de fer ou de fonte fine sur deux d'argile grasse réfractaire en volume, et de vinaigre ou d'acide étendu d'eau. On lui donne la consistance d'une pâte dure et on le comprime fortement. Le mastic ordinaire, composé de limaille, de soufre et d'ammoniaque, ne peut être employé. Pour les joints à brides, le mieux est de dresser au tour les surfaces à joindre, en y faisant des cannelures concentriques; puis on applique contre ces surfaces une légère couche du mastic précédent, et l'on serre fortement les boulons. Pour les joints extérieurs, et qu'il est facile de réparer, on peut ne pas dresser les brides.

Du reste, il convient de réserver les joints à brides pour les parties extérieures aux fours, à cause de l'oxidation des boulons et écrous.

DES EFFETS DE L'AIR CHAUD DANS LES HAUTS-FOURNEAUX.

On a fait connaître (Sect. II, Pag. 67 et suiv.; Sect. VIII, Pag. 134) les avantages de l'air chaud sous le rapport de l'économie et de la conduite du travail, et à cet égard tous les résultats obtenus jusqu'à ce jour ne font que confirmer ce qui a été dit; mais, en ce qui concerne les effets de l'air chaud sur la qualité de la fonte, de nouvelles observations sont venues modifier l'opinion primitivement admise d'une manière trop générale.

Fontes de moulage. En général, l'air chaud a amélioré les fontes de moulage, a permis de les obtenir plus grises et même noires, et a surtout procuré l'avantage de leur faire subir plusieurs refontes sans altérer leur douceur. Quant à leur ténacité, on a des résultats entièrement opposés, sans que l'on sache encore à quoi les attribuer.

En Angleterre, on a observé peu de différence entre la ténacité des fontes obtenues à l'air froid et à l'air chaud.

En France, on a remarqué des anomalies d'autant plus singulières qu'elles se présentent avec l'emploi des mêmes matières. Ainsi, à Lavoulte, on fabrique des projectiles creux de première fusion, et les épreuves n'ont pas indiqué que la fonte fût moins résistante qu'à l'air froid; à Vienne (Isère), au contraire, où l'on emploie des minerais de Lavoulte et le même coke que dans cette usine, la fonte a moins de ténacité et ne la récupère pas entièrement par une seconde fusion.

Les fontes d'Ancy-le-Franc (au charbon de bois) sont moins tenaces en première fusion, mais elles reprennent leur résistance ordinaire après avoir

été refondues. Le même effet a lieu pour plusieurs autres fourneaux au charbon de bois et au coke.

En Alsace, où l'on ne travaille qu'au charbon de bois, les fontes ont moins de ténacité, même après avoir subi une seconde fusion ; et les constructeurs de machines refusant de se servir de cette fonte, dans plusieurs usines on a dû supprimer les appareils de chauffage.

A Torteron (Nièvre), la fonte à l'air chaud est plus résistante qu'à l'air froid, et des essais faits sur des projectiles creux coulés de première fusion ont montré que la ténacité de cette fonte était presque double.

Il est difficile de reconnaître les causes qui peuvent influer ainsi sur la ténacité des fontes, mais il est probable cependant que la température de l'air chaud joue ici un rôle important, et que pour obtenir des fontes de moulage ayant toutes les qualités requises, il ne faut pas dépasser un certain degré de chaleur, qui peut varier selon la nature des matières premières. Ce qui paraît donner quelque poids à cette opinion, c'est qu'à Lavoulte on travaille généralement avec un vent moins chaud qu'à Vienne, et que la fonte y est plus tenace, quoique fabriquée avec les mêmes matières.

Fontes de forge. Pour les fontes de forge, ce qui importe le plus, ce n'est par leur ténacité, mais la qualité du fer qui en provient ; et à cet égard les faits recueillis sont aussi divergens que pour les fontes de moulage, soit que les fontes de forge aient été fabriquées au charbon de bois, au coke, ou avec coke et houille mélangés.

Tandis qu'à Ancy-le-Franc, à Königsbrunn et dans d'autres localités, on assure que les fontes à l'air chaud, au charbon de bois, affinées également au charbon de bois, n'ont présenté aucune différence avec celles obtenues à l'air froid ; à Laufen (Wurtemberg), et dans plusieurs usines de la Bourgogne et de la Champagne, on trouve que les fontes à l'air chaud sont plus difficiles à affiner, et donnent assez souvent un moins bon fer.

Les mêmes difficultés et les mêmes inconvéniens se sont présentés à Fourchambault, dans l'affinage à l'anglaise, sur des fontes à l'air chaud et au charbon de bois.

Mêmes résultats dans cette dernière usine pour les fontes au coke.

A Terrenoire (près Saint-Étienne, Loire), lorsqu'on travaille des fontes de Lavoulte fabriquées au coke et à l'air chaud, la qualité des fers n'est pas moins bonne qu'elle était avec la fonte à l'air froid. Lorsqu'on se sert des fontes du Janon, fabriquées à l'air chaud, avec un mélange des minerais

de Lavoulte et de ceux de Latour (près Saint-Étienne), la qualité du fer est un peu moindre.

On pense que cet effet est dû à la nature de ces derniers minerais, qui sont siliceux, et qu'alors l'emploi de l'air chaud pouvant faciliter la combinaison du silicium avec la fonte, la séparation complète de cette substance devient plus difficile dans l'affinage, d'où résulte un fer de moindre qualité.

A Firmy (Aveyron), où l'on traite des minerais très siliceux, la fonte de forge qu'on a obtenue à l'air chaud manquait non seulement de ténacité, mais a donné de plus mauvais fer à l'affinage que la fonte à l'air froid. On a remarqué de plus que, soit que l'on travaille à l'air froid ou à l'air chaud, la fonte de forge s'améliorait quand le fourneau prenait une allure froide.

Cette dernière circonstance vient à l'appui de l'idée précédemment émise, que la température de l'air influe sur la qualité des produits, et semble indiquer que cette influence s'étend à toute espèce de fonte.

Quant à la combinaison d'une plus grande quantité de silicium par l'emploi de l'air chaud, des analyses exactes et répétées peuvent seules décider la question; et il faudrait que ces analyses fussent faites sur des fontes produites, sinon avec les mêmes dosages de matières, du moins avec des matières de même espèce. Ainsi, il ne faudrait pas comparer des fontes à l'air froid obtenues au coke seul avec des fontes à l'air chaud pour lesquelles on aurait employé un mélange de coke et de houille, parce que ce mélange contient une moindre proportion de cendres, et par suite de silice.

En Angleterre, les opinions sont partagées, comme en France, sur l'emploi de l'air chaud pour produire de la fonte de forge; et tandis que plusieurs usines persistent à s'en servir, d'autres, en assez grand nombre, en ont abandonné l'usage.

Tout ce que l'on peut conclure de ces faits contradictoires, c'est que l'on ne sait pas encore dans quelles circonstances de température et avec quelle nature de matières l'air chaud peut être employé avec succès sous le rapport de la qualité des produits; et en présence des avantages que ce nouveau procédé procure au plus grand nombre d'usines, ce serait agir avec trop de précipitation que de l'abandonner sans avoir fait de nombreux essais, et sans avoir recherché dans chaque usine en particulier les circonstances les plus favorables à son emploi.

SECTION XII.

DES APPAREILS DE TORRÉFACTION, ET DE L'EMPLOI DU BOIS TORRÉFIÉ DANS LES HAUTS-FOURNEAUX.

On a indiqué (Sect. I, page 32, et Sect. II, page 70) les avantages que déjà l'on retirait de l'emploi du bois torréfié ou charbon roux dans quelques hauts-fourneaux, d'après les données connues lors de la publication de ces deux sections. On va faire connaître actuellement le nouveau procédé de carbonisation et relater les résultats acquis par une expérience plus prolongée. Ces résultats ne laissent aujourd'hui aucun doute sur l'utilité de l'invention de MM. Houzeau-Muiron et Feauveau; aussi son application se propage-t-elle de plus en plus.

On avait cru d'abord que ce procédé de carbonisation exigerait en même temps l'emploi de l'air chauffé; mais il est bien établi maintenant qu'il peut être adopté soit qu'on marche à l'air froid, soit qu'on marche à l'air chaud. Ainsi, parmi les fourneaux pour lesquels on a adopté l'emploi du charbon roux, ceux des Bièvres (Ardennes), de Montblainville (Meuse), de Seveux (Haute-Saône), etc., marchent à l'air chaud, tandis que ceux de Haraucourt, de Vendresse, de Senuc (Ardennes), de Maucourt (Meuse), etc., continuent de marcher à l'air froid. Dans toutes ces usines, on est satisfait de la marche des fourneaux sous le rapport de l'économie, et sous celui de la qualité des produits.

Disposition des appareils, mode et résultats des opérations.

On se sert, pour torréfier le bois, de caisses composées de plaques de fonte, et disposées les unes à côté des autres dans un four en maçonnerie placé près du gueulard du haut-fourneau. Ce four est solidement armé pour résister aux effets destructeurs de la dilatation; le nombre des caisses varie selon les besoins de l'usine.

Dans quelques localités, ces caisses sont placées sur une seule ligne, ainsi qu'on l'a fait à Haraucourt; mais plus généralement, on les place sur deux lignes, comme l'indiquent les *fig.* 2 à 6 de la planche 33.

Dans la disposition sur une seule ligne, la torréfaction ne marche pas aussi vite dans les caisses éloignées du gueulard que dans celles qui en sont rapprochées; dans l'autre disposition, les résultats sont plus identiques, et

la durée des opérations moins variable, par suite d'une plus grande égalité dans le chauffage de toutes les caisses.

D'après l'expérience acquise aux usines d'Haraucourt et de Vendresse, il paraît qu'une différence même assez sensible dans l'état de carbonisation du bois ne produit aucun inconvénient dans la marche des hauts-fourneaux, et qu'ainsi les deux dispositions peuvent être adoptées, selon qu'il est plus commode de les établir sur la plate-forme du gueulard.

Quelle que soit la disposition, les gaz qui sortent du gueulard sont introduits dans le four qui contient les caisses par l'effet du tirage d'une cheminée d'appel; et des ouvreaux, convenablement disposés, fournissent une quantité d'air suffisante à la combustion. On fait circuler la flamme de manière que les caisses sont chauffées par toutes les faces, excepté par celle de dessus.

On charge les caisses par la partie supérieure, et lorsque le bois est amené à l'état voulu, on le retire par des portes ou bouches inférieures, et on le fait tomber dans des étouffoirs où il est éteint et refroidi en partie avant que d'être introduit dans le fourneau.

Ces étouffoirs avaient d'abord été faits en tôle; mais, outre la difficulté de les bien boucher, ils étaient promptement détruits par l'acide pyroligneux du bois; on les a remplacés par des étouffoirs en fonte, qui n'ont pas les même inconvéniens.

La planche 33 et sa description indiquent la disposition des fours et étouffoirs, ainsi que les divers détails de construction.

Dimensions et nombre des caisses et étouffoirs. La capacité de chaque caisse est telle qu'elle contient exactement la partie de bois qui, avec le charbon ordinaire, doit fournir une charge. Celle des étouffoirs doit être calculée sur le plus grand volume auquel le bois est réduit après sa torréfaction, et qui sera indiqué plus loin.

On ne donne pas aux caisses une capacité moindre de $0^{mc}650$ à $0^{mc}700$; et il paraît qu'elle ne doit pas dépasser $1^{mc}400$ à $1^{mc}600$, pour que la torréfaction se fasse avec une régularité suffisante dans toutes les parties.

Le nombre de caisses se règle d'après le nombre de charges à faire par 24 heures, et la durée moyenne de la torréfaction, qui est de quatre à cinq heures. Ainsi, en comptant sur le temps le plus long, si l'on doit faire 40 charges par 24 heures, il faudra huit caisses. On en augmenterait le nombre si un plus grand volume de bois était nécessaire pour chaque charge. Il est bon d'ailleurs d'avoir une ou deux caisses de rechange en cas de réparation.

Le nombre d'étouffoirs est égal à celui des caisses, à moins qu'ils ne soient mobiles; et dans ce cas, on peut en avoir un peu moins.

Prix des appareils. Avec les dimensions ordinaires des caisses, et en supposant les épaisseurs réglées comme l'indiquent les cotés de la Pl. 33, le poids de fonte nécessaire pour chacune d'elles peut varier de 1500 à 2200 kilogrammes.

La quantité de briques ordinaires pour la construction d'un four de huit caisses est d'environ 10,000; et il faut à peu près 1,200 briques réfractaires.

La dépense totale en matière, main-d'œuvre, frais de modèles, ferrures, y compris la galerie ou plancher qui règne autour du four, varie, pour un appareil de huit caisses, de 8,000 à 9,000 francs.

A Vendresse, où l'on a établi seize caisses, on évalue à 1,000 francs le coût de chacune, le four étant prêt à marcher.

Préparation des bois. Tous les bois, quelle que soit leur essence, peuvent être soumis au nouveau procédé de carbonisation. On les amène en bûches à l'usine, où on les empile pour les débiter à mesure du besoin.

Dans plusieurs usines, le découpage du bois se fait encore à la hache: on fend d'abord les bûches dans le sens de la longueur, et on les divise en brins d'environ 5 centimètres d'équarrissage; après quoi ces fragmens sont découpés en petits morceaux de 14 à 16 centimètres au plus de longueur.

Cette main-d'œuvre est chère et occasionne beaucoup de déchet provenant des nombreux éclats qu'entraîne nécessairement l'usage de la hache; aussi, dans la plupart des usines, a-t-on abandonné ce mode vicieux de découper le bois, pour adopter l'usage simple, prompt et peu dispendieux des scies circulaires.

Ces machines sont mues avec une vitesse de 350 à 400 tours par minute, et exigent alors une force motrice équivalente à un cheval de force des machines à vapeur, ou avec une vitesse de 700 à 800 tours, en employant une force à peu près double. Les frais d'établissement d'une de ces machines s'élèvent à 900 ou 1,000 fr. au plus, et, avec une vitesse moyenne de 750 tours, une seule scie, travaillant 12 heures par jour, peut débiter facilement assez de bois pour alimenter un haut-fourneau. A l'aide d'un seul ouvrier et de son manœuvre, elle exécute pendant ce temps autant de travail qu'en feraient 25 à 30 hommes.

Au moyen de la scie, les bois sont d'abord coupés en morceaux de la longueur indiquée, et que l'on nomme *billots* ou *biblots*, puis on les refend

à la grosseur voulue, soit à la hache, soit par le moyen d'un outil très commode, imaginé par M. Duplessis, propriétaire de l'usine de Seveux. Cet outil se compose simplement de lames d'acier formant une croix, et fixées dans un bloc de bois. Un enfant prend les billots et les place d'une main sur la croix ou sur une des lames, et de l'autre il frappe dessus avec un maillet de bois, pour les diviser en quatre ou seulement en deux, selon les dimensions du morceau.

Il ne faut pas découper et fendre de bois pour plus de 12 à 15 jours à l'avance, parce que s'il devait rester trop long-temps entassé, l'air ne pouvant circuler dans la masse, il s'échaufferait et passerait, surtout s'il était exposé à la pluie ou à l'humidité, et perdrait alors une partie de ses qualités et de son pouvoir calorifique.

Le bois ainsi préparé, on le met dans des paniers nommés *rasses* ou *respes*, et on le monte au four de torréfaction.

Chargement des caisses. Avant de charger les caisses, il faut fermer leur porte inférieure et la luter avec de l'argile, de manière à interdire tout accès à l'air. On remplit alors les caisses par la trémie supérieure, puis on en ferme la porte, qu'il n'est pas nécessaire de luter.

Marche et durée de l'opération. L'eau contenue dans le bois ne tarde pas à se dégager en vapeur par les *fumettes* ou tuyaux d'évaporation ; puis succède une fumée noire et épaisse, ayant l'odeur de suie, et qui devient ensuite blanchâtre, claire, piquante et styptique lorsqu'on la respire. C'est le signe auquel les ouvriers reconnaissent que la carbonisation est arrivée au point convenable. La période finale se présentant à des époques différentes pour chaque caisse, selon le moment de son chargement, il vaut mieux, pour la reconnaître, que les caisses aient chacune un tuyau d'évaporation particulier que d'employer un tuyau commun à plusieurs caisses, comme on le fait dans plusieurs usines.

La durée de l'opération peut varier de deux à quatre heures, et quelquefois davantage, selon que le four est plus ou moins chauffé. Il vaut toujours mieux la conduire lentement, parce que la torréfaction est plus régulière et donne un charbon plus homogène avec moins de perte de carbone. En la réglant, au moyen des registres et des ouvreaux, de manière qu'elle dure environ quatre heures en moyenne, on obtient toujours de bons résultats.

Le temps convenable varie d'ailleurs selon l'essence et le degré d'humidité des bois. Les bois tendres se carbonisent plus promptement que les

bois durs, et il conviendrait peut-être de les torréfier séparément, sauf à les mélanger ensuite; mais ce moyen, laissé à la disposition des ouvriers, n'est pas exempt d'inconvéniens pour la marche du haut-fourneau.

Déchargement. Pour décharger une caisse, les ouvriers enlèvent d'abord la porte inférieure de celle-ci et le couvercle de l'étouffoir correspondant; puis, à l'aide d'un crochet ou d'une espèce de râteau, il font tomber le bois dans l'étouffoir. Pendant cette opération, il arrive souvent que le contact de l'air fait enflammer le bois, et il faut que l'aide-charbonnier ait soin d'arroser aussitôt d'un peu d'eau les parties enflammées. La vapeur qui se forme alors éteint promptement la flamme, puis on referme l'étouffoir en lutant sa porte et son couvercle avec de l'argile. Le charbon s'y éteint et s'y refroidit lentement; la carbonisation s'y continue encore en vertu de la chaleur acquise dans les caisses, en sorte que le bois est mieux carbonisé et plus homogène après avoir séjourné dans les étouffoirs qu'à sa sortie immédiate des caisses.

L'extinction par une légère aspersion d'eau n'est aucunement préjudiciable à l'emploi du charbon roux, mais il faut éviter de le trop humecter. Il est, à cet égard, dans le même cas que le charbon noir. (Voy. Sect. I, page 53.)

Etat et propriétés du bois torréfié. Pour être carbonisé au point convenable, le bois, au sortir des étouffoirs, doit être couleur de chocolat ou de café brûlé, dans l'intérieur comme à la surface, et doit pouvoir se pulvériser facilement.

On l'obtient toujours à cet état par une carbonisation lente, durant 4 à 5 heures; mais si elle est poussée trop rapidement, il arrive souvent que des morceaux sont inégalement carbonisés, et que leur surface seule est noire tandis que l'intérieur est encore blanc. De plus, il n'y a pas d'homogénéité dans la masse, et les billots du fond des caisses sont fortement torréfiés tandis que ceux de la partie supérieure ont à peine changé d'état.

Le volume du charbon roux doit être à peu près réduit aux $\frac{2}{3}$ de celui du bois dont il provient. L'expérience a montré qu'une carbonisation moins avancée donne lieu à des chutes de minerais dans le fourneau, et y produit des engorgemens qu'on ne peut détruire qu'en diminuant la quantité de mine, et par conséquent l'économie de combustible. En outre, la température du fourneau baisse sensiblement; la réduction se fait mal; les laitiers sont chargés de fer et deviennent corrosifs, d'où résultent des produits moins abondans et de moindre qualité.

A défaut des indices qui annoncent la fin de l'opération, on peut juger du degré de torréfaction en se basant sur les expériences suivantes faites par M. Sauvage, ingénieur des mines, à l'usine de Haraucourt.

Des charges composées de 217 kilogrammes de bois, contenant environ $\frac{2}{3}$ d'essences tendres, et occupant un volume de $0^{mc}670$, ont présenté les résultats suivans :

1°. Après 3 heures de séjour dans le four, le poids était réduit à 142^{kil}, et le volume à $0^{mc}580$. Rapport des poids, 0,65 ; rapport des volumes, 0,86 : carbonisation trop peu avancée.

2°. Après 4 heures $\frac{1}{2}$, le poids était réduit à 115 kilogrammes, et le volume à $0^{mc}510$. Rapport des poids, 0,53 ; rapport des volumes, 0,76 : charbon pouvant déjà servir sans inconvéniens, mais non d'une manière continue.

3°. Après 5 heures, les charges ont donné en poids 102 kilogrammes, et en volumes, $0^{mc}390$. Rapport des poids, 0,47 ; rapport des volumes, 0,59 : charbon de bonne qualité et d'un très bon emploi.

4°. Après 5 heures $\frac{1}{2}$, le poids de la charge était réduit à 90 kilogrammes, et le volume à $0^{mc}37$. Rapport des poids, 0,41 ; rapport des volumes, 0,55.

5°. Après 6 heures $\frac{1}{2}$, le poids était réduit à 85 kilogrammes, et le volume à 35. Rapport des poids, 0,39 ; rapport des volumes, 0,52.

Le charbon des 4e et 5e expériences est d'un excellent emploi ; mais comme la carbonisation est poussée déjà plus loin qu'il n'est nécessaire, elle réduit un peu l'économie que l'on peut faire sur le combustible.

Il résulte de ces expériences que le volume et la qualité du charbon roux les plus convenables sous tous les rapports correspondent à une durée d'opération de 4 heures $\frac{1}{2}$ à 4 heures $\frac{3}{4}$; mais on conçoit qu'il peut y avoir quelques variations à cet égard selon l'état et l'essence des bois, et la disposition plus ou moins avantageuse des appareils.

Un fait remarquable, qui résulte des essais de M. Sauvage, c'est que le bois amené à la période de carbonisation de la 5e expérience, c'est-à-dire jusqu'au point d'avoir perdu un peu moins que les deux tiers de son poids et que la moitié de son volume, donne un combustible plus dense que le charbon, et qui, à volume égal, produit la même quantité de chaleur. Il n'y a donc aucun avantage à dépasser ce point.

Par une torréfaction moins avancée, comme celle des expériences 2 et 3, le bois a perdu moins de carbone, et, à volume égal, son pouvoir calorifique est plus grand que celui du charbon, à peu près dans le rapport de 1,2 à 1 : cet effet est dû à ce qu'il conserve une plus grande propor-

tion d'hydrogène, corps éminemment combustible, et très propre en outre à faciliter la désoxidation des minerais.

Il suit de ces propriétés du charbon roux, qu'en l'employant dans les limites de torréfaction reconnues convenables, ce combustible doit, à volume égal, produire dans les hauts-fourneaux une plus haute température que le charbon noir, et c'est aussi ce que l'expérience indique.

Un des plus importans avantages du nouveau procédé, c'est d'éviter les pertes énormes de bois qu'entraine l'ancien procédé de carbonisation. En effet, d'après les analyses les plus exactes, le bois contient 36 à 37 pour 100 de carbone en poids; par la carbonisation en fauldes, on n'en retire ordinairement que 16 à 17 pour 100, tandis que dans les appareils de torréfaction le charbon roux représente de 25 à 32 pour 100 de carbone, selon que l'opération est plus ou moins avancée. Il y a donc économie moyenne de 33 pour 100 sur le bois en nature.

EFFETS ET ÉCONOMIE RÉSULTANT DE L'EMPLOI DU BOIS TORRÉFIÉ.

L'emploi du charbon roux a généralement amélioré la marche des hauts-fourneaux; le travail est devenu plus facile, la température plus élevée, l'ouvrage plus dégagé et les tuyères plus brillantes; mais ce combustible étant plus compacte que l'ancien, il exige une augmentation de pression dans le vent, à peu près dans le rapport de 15 à 16 ou 17.

La marche des fourneaux est accélérée, c'est-à-dire qu'il faut moins de temps pour produire une même quantité de fonte. Dans les fourneaux marchant à l'air froid, l'économie de temps est de $\frac{1}{7}$ à $\frac{1}{8}$; dans ceux qui marchent à l'air chaud, elle a été jusqu'à $\frac{1}{5}$. De là résulte une économie sur le prix de revient de la fonte, par la diminution relative des frais généraux. En outre, on a observé dans plusieurs usines que le rendement des minerais était augmenté de 1 à 2 pour 100 par suite d'une plus complète réduction.

La fonte est améliorée par l'emploi du nouveau procédé; elle est devenue plus douce, plus homogène, plus fluide et plus propre au moulage, même en travaillant à l'air froid. Sa ténacité, dans ce dernier cas, est sinon plus grande, au moins égale à celle de la fonte fabriquée au charbon noir. Enfin, elle donne à l'affinage un meilleur fer avec de moindres déchets, quelle que soit la méthode employée.

Résultats économiques. Dans l'emploi du bois torréfié, il faut considé-

rer l'économie relative ou celle qui a lieu pour une même quantité de fonte, dans le haut-fourneau; et l'économie absolue, en tenant compte des frais de toute nature qu'entraîne le nouveau procédé, comparativement à ceux de l'ancien.

Aux Bièvres, lorsqu'on marchait avec le charbon ordinaire, on consommait pour produire 1,000 kilogrammes de fonte une quantité de charbon correspondant à environ 18 stères de bois. (1)

En travaillant avec l'air chaud à 220 degrés centigrades, on a adopté, après quelques variations, le mélange suivant de charbon et de bois torréfié.

16 hectolitres de charbon, représentant	5st 33 de bois.
48 hectolitres de bois torréfié.......	8 00
Total..........	13st 33

L'économie dans le haut-fourneau était donc de 26 pour 100.

Plus tard, on obtint des résultats satisfaisans avec le bois torréfié seul, sauf quelques légères additions de charbon faites en cas de dérangemens, et l'on consommait moyennement 11st 50 de bois par 1,000 kilogrammes de fonte, d'où résultait une économie de 36 pour 100.

La marche du fourneau était assez régulière, mais il produisait de la fonte de forge plus habituellement que de la fonte de moulage.

A Senuc, le haut-fourneau ne marche qu'au charbon roux sans mélange, et au vent froid, depuis l'époque de son établissement (avril 1836). On n'y fait que de la fonte blanche pour la forge.

Le volume du combustible est moyennement égal à 0,40 du volume de bois vert employé.

La consommation par 1,000 kilog. de fonte est de 11 stères de bois.

A Montblainville, on travaille avec une forte proportion de bois torréfié, et au vent chaud à la température de 250 à 275 degrés centigrades. L'allure du fourneau est régulière; la quantité, ainsi que la qualité des produits, est restée ce qu'elle était lorsqu'on travaillait au charbon seul et à l'air chaud. On ne fait que de la fonte blanche.

On consomme moyennement pour 1,000 kilogrammes de fonte,

10 hectolitres de charbon, représentant	3st 42 de bois.
Bois torréfié, représentant...........	8 59
Total..........	12st 01

(1) Le poids moyen de l'hectolitre est de 18 kilogrammes.

A Vendresse, en marchant au charbon seul, on consommait par 1,000[kil] de fonte 70 hectolitres de charbon, représentant 24st14 de bois.

On obtenait une fonte truitée, employée généralement au moulage de projectiles, et la marche du fourneau était bonne et très régulière.

Dans la marche actuelle, on consomme

15 hectolitres de charbon, représentant	5st 20 de bois.
Et un volume de charbon roux.......	12 50
Total..........	17st 70

Il y a donc économie de 26 à 27 pour 100, et la qualité de la fonte n'a changé en rien, car elle se moule avec la même facilité et a tout-à-fait les mêmes apparences.

A Haraucourt, en marchant à l'air froid et au charbon ordinaire, on consommait 75 hectolitres de charbon, représentant 23st69 de bois. (1)

En travaillant au vent froid et avec un mélange des deux combustibles dans la proportion ci-dessous, on consommait

34 hectolitres de charbon noir, représentant	10st 57 de bois.
50 hectolitres de charbon roux..........	8 46
Total..........	19st 03

et l'économie de bois était encore de 17 pour 100, quoique la proportion du charbon roux soit beaucoup moindre qu'aux Bièvres, et que le volume des charges ait augmenté.

En octobre 1837, on avait augmenté la proportion de bois torréfié, et l'on consommait par 1,000[kil] de fonte

16 hectolitres de charbon, représentant....	5st 50 de bois.
68 hectolitres de charbon roux..........	11 31
Total..........	16st 81

Ce qui portait l'économie de bois à environ 30 pour 100, sans que la qualité des produits en fût en rien altérée.

On voit par tous ces résultats que le nouveau combustible présente une économie considérable dans la consommation.

L'économie totale ou absolue dépend de la proportion des deux combustibles et des divers frais qu'entraine chaque mode de carbonisation.

Pour l'établir, il faut avoir égard :

(1) Le poids moyen de l'hectolitre est de 20[kil.] 4.

Au nombre de cordes consommées dans la marche au charbon de bois seul, par tonne de fonte;

Au nombre de cordes correspondant à la fraction de charbon de bois employé en mélange;

Au nombre de cordes correspondant à la fraction de charbon roux;

Au prix de la corde sur place;

Au prix de la carbonisation d'une corde;

Au prix du transport, par lieue, pour le charbon;

A la distance, en lieues, de la coupe à l'usine;

Au prix du transport, par lieue, pour le bois brut;

Au prix de l'empilage à l'usine;

Au prix du découpage;

A celui de la torréfaction par corde;

Enfin, à la prime à payer au breveté. (1)

Le prix de l'empilage est d'environ 15 centimes par corde de $3^{st}11$.

Le prix du découpage est de 3 fr. à Haraucourt, où il se fait tout à la hache; exécuté à la scie droite et à la hache, il coûte 2 fr. 50 c. aux Bièvres; et en employant la scie circulaire il ne coûte pas au-delà de 2 fr. par corde.

Le prix de la torréfaction est à peu près de 1 fr. par corde.

Enfin, d'après ce qui a lieu à Haraucourt, la prime à payer au breveté est de 25 centimes par corde livrée à la torréfaction.

Des calculs comparatifs et appliqués à diverses proportions de mélange doivent être faits pour adopter le nouveau procédé avec connaissance de cause; mais il faut observer qu'alors même que l'économie pécuniaire serait nulle, on aurait encore les avantages suivans :

1°. Economie sur la consommation du bois, d'où résulte qu'avec une même quantité, on peut marcher plus long-temps, ou marcher à l'ordinaire avec moins de capitaux;

2°. Economie dans les frais généraux par suite de l'accroissement des produits;

3°. Pas de déchet de combustible;

4°. Beaucoup moins de surveillance dans les forêts et de soustractions dans le débit et dans l'emploi des bois;

(1) MM. Houzeau-Muiron et Fauveau-Déliars ont pris, en date du 11 février 1835, un brevet d'invention et de perfectionnement, pour 15 ans. La prime qu'ils prélèvent est de 1200 fr. par an et par fourneau.

5°. Enfin, suppression totale des pertes résultant de toutes les causes accidentelles qui diminuent les produits de la carbonisation dans les forêts ou en détériorent la qualité.

Il doit y avoir, en général, économie sous tous les rapports, pour toutes les usines dont les approvisionnemens de combustibles se font dans un rayon moyen de quatre à cinq lieues, c'est-à-dire pour le plus grand nombre d'établissemens; et l'économie sera d'autant plus considérable qu'on pourra employer une plus grande proportion de charbon roux. Le rayon des approvisionnemens pourra s'étendre davantage, si l'on peut marcher sans employer un mélange de charbon ordinaire.

On ne peut douter que l'application du nouveau procédé ne soit un progrès important dans les travaux sidérurgiques, et non seulement il doit favoriser en France l'accroissement des produits, mais encore aider puissamment les maîtres de forges à soutenir la lutte qui devra s'engager avec l'étranger dans un avenir plus ou moins éloigné.

FIN DE LA PREMIÈRE PARTIE DU TEXTE.

TABLE ANALYTIQUE

DES MATIÈRES

CONTENUES DANS LA PREMIÈRE PARTIE.

FABRICATION DE LA FONTE.

AVANT-PROPOS.

BUT ET PLAN DE L'OUVRAGE. — CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES SUR LA POSITION DES USINES A FER, ET SUR LES AMÉLIORATIONS A Y INTRODUIRE.

SECTION I.

MATIÈRES PREMIÈRES.

SECTION III.

DISPOSITION DES HAUTS-FOURNEAUX.

DISPOSITIONS INTÉRIEURES.

Formes. But que l'on doit se proposer; formes de la cuve et des étalages; importance de l'ouverture de l'angle au ventre; moyen employé quelquefois pour diminuer cet angle; la cuve doit toujours diminuer de largeur depuis le ventre jusqu'au gueulard, 74. — *Essais tentés pour le profil intérieur des hauts-fourneaux*; les profils composés de lignes droites, avec une partie droite pour le ventre, donnent de bons résultats et sont d'une exécution plus facile, 75. — Le raisonnement et l'expérience indiquent la forme circulaire comme la meilleure pour les sections horizontales, 75. — Formes diverses adoptées dans plusieurs localités, 76. — Suppression de l'ouvrage dans les fourneaux au bois; cette disposition est mauvaise, 76. — Section à donner à l'ouvrage, 76. — *Dimensions*. Élémens qui influent sur ces dimensions, 76. — Largeur ou diamètre au ventre; cette dimension est celle qui, jointe à la quantité d'air lancée, influe le plus puissamment sur la production des hauts-fourneaux; elle doit se déterminer, soit par la quantité de fonte à produire, en supposant qu'on puisse donner tout le vent nécessaire, soit par la quantité d'air dont on peut disposer, 77.

Méthode pour fixer cette section, 77. — Application de la méthode aux deux cas énoncés ci-dessus, 77, 78. — Application de la méthode à un fourneau à coke, 78. — Les mêmes calculs sont applicables à l'emploi de l'air chaud, seulement la consommation de combustible sera diminuée et la production de fonte augmentée, 79. — *Position du ventre*. Elle est un des points les plus importans à bien régler; elle varie beaucoup pour les fourneaux au charbon de bois; les limites extrêmes sont $\frac{1}{6}$ et $\frac{1}{3}$ de la hauteur totale comptée de la sole au gueulard; les proportions les plus ordinaires sont : $\frac{1}{4}$, $\frac{2}{7}$ et $\frac{1}{3}$; nature de minerais et de charbons auxquels doit s'appliquer chacune de ces proportions, 79. — Pour les fourneaux au coke, la hauteur du ventre est au maximum égale à $\frac{1}{4}$ de la hauteur totale, 79. — *Ventre cylindrique*. On ne l'a employé, jusqu'à présent, que pour les fourneaux à coke; fourneaux au bois auxquels on pourrait également l'adapter; circonstances dans lesquelles cette disposition est surtout avantageuse; hauteur à donner à cette partie cylindrique, selon la nature des combustibles et des minerais, 79, 80. — *Hauteur des fourneaux*. Considérations qui doivent guider dans la fixation de cette hauteur; dans les fourneaux au bois, elle est très variable; minimum, 6m 00; la hauteur qui parait devoir être la limite maximum est de 5 fois la largeur du ventre, 80, 81. — Pour les fourneaux à coke, la hauteur est généralement comprise entre 3 et 4 fois la largeur au ventre, 81. — *Gueulard*. Son objet; influence de sa largeur sur le produit journalier; circonstances dans lesquelles il faut lui donner, ou le maximum, $\frac{1}{4}$ de la section au ventre; ou le minimum d'ouverture, $\frac{1}{8}$ de cette section, 81, 82. — *Étalages*. Leur pente et leur hauteur doivent être proportionnées à la nature des matières employées; considérations pour fixer ces dimensions; leur pente doit être moindre pour obtenir de la fonte grise : limites de leur inclinaison, 60° et 35° à l'horizon, 83. — *Ouvrage*. Cette partie joue un rôle très important dans le travail des hauts-fourneaux; on évase l'ouvrage vers le haut; motifs de cet évasement; résultats donnés par l'expérience sur les relations entre les dimensions de l'ouvrage, la nature de la fonte à produire, celle du combustible, celle des minerais, 83, 84. — Hauteur qu'il convient de donner à l'ouvrage; elle est en général comprise entre $\frac{1}{7}$ et $\frac{1}{5}$ de la hauteur totale; largeurs de l'ouvrage, selon la nature du combustible, 84. — *Creuset*. Il doit rece-

donner aux fondations lorsque l'on n'a qu'un seul fourneau à construire ; précaution à prendre pour le sol des caves des fourneaux, 93, 94. — *Formes extérieures des hauts-fourneaux*. Deux espèces de forme sont en usage; toute l'enveloppe extérieure des parois réfractaires porte le nom de *double muraillement ;* son but; modes divers de construction du double muraillement; on a supprimé dans quelques usines anglaises, et avec succès, le double muraillement autour de la cuve, 94, 95. — Embrasures qu'il faut ménager dans la base des fourneaux ; leur nombre pour les fourneaux au bois et pour ceux au coke ; piliers d'embrasure ou piliers de cœur, massifs solides qui séparent les embrasures ; noms des diverses embrasures ; passages circulaires, voûtés, qu'on réserve quelquefois dans les massifs; leur but, 95, 96. — *Parapet* ou *batailles*, ou quelquefois balustrade en fer pour couronner le double muraillement; leur but; les grands fourneaux sont ordinairement découverts; mais on recouvre d'une toiture les petits et moyens fourneaux au bois, 96. — *Évens* ou caoaux qu'il faut ménager de distance en distance et dans diffésens seus ; leur but, 96. — *Dimensions extérieures*. Elles dépendent de la euve ; épaisseurs à donner au double muraillement suivant la hauteur du fourneau ; épaisseur du double muraillement dans le cas où l'on ne veut pas employer d'armature; dans tous les cas, il est avantageux de se ménager les moyens d'agrandir au besoin le ventre du fourneau; largeur de la base pour les fourneaux de forme pyramidale et pour les fouroeaux coniques ; hauteur des batailles, 96, 97, 98. — *Dispositions et dimensions des embrasures*. Celle de travail doit être plus spacieuse que les autres ; pièces en fonte que l'on nomme *marâtres ;* leur but, 98. — *Armatures*. Leur disposition, leurs dimensions ; éviter l'emploi des ancres en forme de S ou de X ; armatures allant d'un milieu à l'autre des faces adjacentes de la base ; armatures des fourneaux ronds ; armatures des cheminées, 99, 100. — *Fourneaux accolés*. On doit réserver un passage entre les fourneaux ; on donne assez généralement la forme carrée aux fourneaux accolés, mais elle a des inconvéniens ; il vaudrait mieux adopter la forme ronde, 100. — *Emplacement des hauts-fourneaux*. On doit, antant que possible, profiter des accidens de terrain pour les placer avantageusement ; mur do soutenement à construire dans le cas de fourneaux adossés ; avantages des fourneaux adossés lorsque les matières premières arrivent d'un point supérieur ; éloigner les eaux des murs de soutenement, et régler les peutes des plates-formes de manière à donner aux eaux un écoulement facile, 100, 101. — En arrière des fourneaux placés en plaine, il faut un bâtiment eontigu dont le plancher superieur s'élève à la hauteur des gueulards ; plan iucliné pour élever les matières ; pont pour la communication entre les plates-formes et les fourneaux, 101. — *Fonderies, hangards de chargement ;* leur superficie, 102. — *Ateliers et locaux accessoires*, 102, 103.

SECTION IV.

CONSTRUCTION DES HAUTS-FOURNEAUX.

Mode de fondation à adopter selon les diverses natures de terrain ; le grillage ou pilotage doit excéder de 20 à 25 centimètres la largeur de la fondation ; matériaux que l'on peut employer dans les fondations ; matériaux à employer ou à éviter pour la construction du double muraillement, des massifs et des embrasures, 103, 104. — Mode de construction économique employé en Suède ; moyens analogues employés en Angleterre ; importance de l'emploi des matériaux les plus réfractaires pour les constructions intérieures ; matériaux à employer pour ces constructions intérieures ; matières employées pour fabriquer les briques réfractaires, et proportions de ees matières ; espèce de mortier à em-

quantité et graduation de la houille à brûler; avantages de ce moyen de chauffage; quantités de coke ou de houille nécessaires pour le chauffage d'un fourneau neuf, 118.

MODE DE CHARGEMENT.

Charges en combustible. Elles se règlent d'après la capacité de la cuve et la nature des minerais, et d'une manière invariable; détermination de la quantité des charges pour les fourneaux au bois et pour ceux au coke; il faut éviter les charges alternatives de combustible dur et tendre, 119, 120. — *Charges en minerais.* Elles varient pour ainsi dire constamment; considérations qui doivent régler ces variations, 120. — *Dosage des fondans.* Les proportions ne s'établissent que lorsqu'on est parvenu en plein roulement; considérations qui doivent servir à les modifier; état de division auquel il convient de les réduire, 120, 121. — *Mode de chargement.* Il faut suivre avec régularité la méthode adoptée; cette méthode influe puissamment sur la marche; inconvéniens des charges trop ou trop peu volumineuses; les plus petites charges qui satisfont aux conditions voulues donnent les meilleurs résultats; méthode vicieuse suivie dans la plupart des fourneaux au bois; ses inconvéniens; avantages qu'il y a à procéder par plus petites charges, et exemple de ces avantages; seul cas où il soit nécessaire d'employer de fortes charges, 121. — L'ordre de chargement des matières n'est pas indifférent; ordre de chargement dans les fourneaux au bois; ses motifs; dans les fourneaux au coke l'ordre de chargement n'a pas la même influence; on doit charger le combustible au volume; les minerais et fondans, au poids; on prend de temps à autre le poids moyen des mesures de charbon, 122.

MISE A FEU.

Avant l'opération, il faut réunir les objets nécessaires, et si l'on a des laitiers, choisir et ramasser une assez grande quantité des plus purs et des plus vitreux; la dame doit être chauffée préalablement; 1re, 2e, 3e, 4e, 5e et 6e période de l'opération; proportions des charges pour chacune de ces périodes; durée de chacune d'elles; dans les deux premières périodes, il est avantageux de remplacer le tiers ou le quart des fondans par du laitier pur, 123. — A partir du moment où l'on charge le minerai, on fait 2 à 3 grilles par vingt-quatre heures; opération à faire lorsque le minerai arrive au creuset; placement des tuyères, de la dame, de la plaque de gentilhomme et de la garniture de tympe; époque à laquelle il convient de donner le vent, et de quelle manière on doit le donner; il faut alors travailler le creuset de deux en deux ou de trois en trois heures; époque à laquelle il faut donner issue au laitier; époque de la première coulée; accroissement successif du vent; on doit éviter de donner un vent trop fort pendant les premières périodes; remède à apporter aux dégradations presque inévitables des costières, 124, 125.

SECTION VII.

TRAVAIL DES HAUTS-FOURNEAUX.

Les difficultés du travail augmentent à mesure que les minerais sont plus réfractaires et les combustibles plus compactes; signes que doit présenter un fourneau en allure régulière; ils sont relatifs : 1°. aux tuyères; 2°. aux laitiers; si les laitiers deviennent noirs, c'est toujours l'indice d'une mauvaise réduction; couleurs qu'ils offrent le plus fréquemment; 3°. aux flammes de la tympe; 4°. à la flamme du gueulard; 5°. à la descente des charges, 126, 127. — *Principales causes de dérangement des hauts-fourneaux*, 127. — *Allure froide.* Ses causes; indices auxquels on la reconnaît; remèdes à apporter aux divers inconvéniens qu'elle peut produire; dans tous les cas de refroidissement, la fonte change de nature; dans certains fourneaux au bois, la faiblesse des machines souf-

SECTION VIII.

NATURE DES FONTES, CAUSES QUI INFLUENT SUR LEUR PRODUCTION. — BLANCHÎMENT DE LA FONTE DANS LES HAUTS-FOURNEAUX. — TRAITEMENT DES MINERAIS SULFUREUX ET PHOSPHOREUX. — TRAITEMENT DES SCORIES.

NATURE DES FONTES.

Division d'après l'aspect de leur cassure, en *fontes noires*, *grises*, *truitées grises*, *blanches*, *truitées blanches*, *blanches lamelleuses* et *blanches grenues*. Proportions du carbone et état auquel il existe dans la fonte blanche et la fonte grise; propriétés et caractères des diverses espèces de fontes; on peut reconnaître la nature des fontes à la manière dont elles coulent et se refroidissent; description de ce genre de caractères; propriétés de ces diverses fontes, 141, 142, 143.

CAUSES QUI INFLUENT SUR LA NATURE DES FONTES.

Conditions pour la production de la fonte grise; minerais propres à sa production; conditions dans lesquelles on obtient la fonte blanche; causes détaillées de la production de fonte blanche en roulement régulier; minerais disposés à produire la fonte lamelleuse, 143, 144, 145. — Causes de la production de fonte blanche en roulement irrégulier; la fonte blanche lamelleuse est celle que l'on obtient par le plus bas degré de chaleur qui permette une réduction complète; par une température plus élevée, on obtient de la fonte mêlée ou truitée, à fond gris-clair ou à fond blanc; par une température plus basse, on obtient de la fonte blanche grenue; c'est dans le produit de la fonte blanche lamelleuse que l'effet du combustible est le mieux utilisé; ses inconvéniens; on préfère généralement fabriquer de la fonte grisâtre, surtout dans les fourneaux à coke, 145, 146.

On doit éviter la fonte grenue; la fonte blanche devient caverneuse, par allure sèche ou par défaut de fondans; les fontes truitées s'obtiennent en général par une température intermédiaire; moyen de les obtenir d'une manière constante, 146.

BLANCHÎMENT DE LA FONTE DANS LES HAUTS-FOURNEAUX.

Blanchîment par addition de minerais. Minerais qu'on choisit de préférence pour cette opération, et mode de leur emploi; cas auxquels convient ce mode de blanchîment, 146, 147. — *Blanchîment par l'action du vent*. Procédé suivi dans l'Eiffel; circonstances de l'opération; sa durée; modification avantageuse de ce procédé en usage dans le Berri; minerais auxquels ce mode de blanchîment est applicable, 147, 148, 149.

TRAITEMENT DES MINERAIS SULFUREUX ET PHOSPHOREUX.

Nature des fontes obtenues avec ces minerais; préparation des minerais sulfureux; précautions à prendre, et difficultés que l'on rencontre lorsque le minerai contient des sulfates de chaux et de baryte; préparation des minerais phosphoreux; il faut fondre ces minerais à une température assez élevée pour en obtenir de la fonte grise, 149, 150.

TRAITEMENT DES SCORIES.

Nature et richesse des scories. Conditions essentielles au traitement des scories dans les hauts-fourneaux; on peut les mélanger au minerai, mais avec beaucoup de précautions; nature des fontes obtenues dans ce cas.

Essais relatifs à l'emploi des scories, faits par MM. Strom et Walter; résultats de ces essais; remarque sur la transformation dans la nature de la fonte, opérée par la présence des scories; scories sur lesquelles il importerait de fixer l'attention, 150, 151, 152.

SECTION IX.

DES ÉTATS ET NOTES A TENIR SUR LE ROULEMENT DES HAUTS-FOURNEAUX.

SECTION X.

DES MACHINES SOUFFLANTES.

MACHINES SOUFFLANTES A PISTON.

MACHINES SOUFFLANTES EN FONTE.

DES RÉGULATEURS.

SECTION XI.

DES APPAREILS A CHAUFFER L'AIR, ET DES EFFETS DE L'AIR CHAUD SUR LA FONTE.

SECTION XII.

DES APPAREILS DE TORRÉFACTION ET DE L'EMPLOI DU BOIS TORRÉFIÉ DANS LES HAUTS-FOURNEAUX.

FIN DE LA TABLE DE LA PREMIÈRE PARTIE.

MÉTALLURGIE PRATIQUE
DU FER.

PREMIÈRE PARTIE.

FABRICATION DE LA FONTE.

DESCRIPTION DES PLANCHES.

AVERTISSEMENT.

Dans toutes les Planches, les cotes sont indiquées en mètres et millimètres. Les nombres à deux ou trois chiffres, tels, par exemple, que 45, 350, indiquent toujours des millimètres; les nombres de plus de trois chiffres renfermant la lettre *m*, tels que 3^m250, 11^m400, indiquent une certaine quantité de mètres et millimètres; enfin, les cotes qui ne se composent que d'un nombre entier de mètres sont indiquées par un ou plusieurs chiffres suivis de la lettre *m*.

En tête de chaque description, on a indiqué le rapport qui existe entre la grandeur des figures et celle des objets qu'elles représentent; ce qui donne la facilité de trouver les dimensions, en faisant usage de mesures quelconques, et sans avoir besoin de tables de réduction.

MÉTALLURGIE PRATIQUE

DU FER.

PREMIÈRE PARTIE.

DESCRIPTION DES PLANCHES.

PLANCHE 1re.

Boccard et patouillets réunis, employés dans les usines de Jean d'Heurs, Montreuil-sur-Blaize, Chamouilly et autres usines des départemens de la Meuse et de la Haute-Marne.

Figure 1. Plan du boccard et des patouillets.

Fig. 2. Coupe longitudinale suivant la ligne 1, 2, 3, 4, du plan ($\frac{1}{100}$ de la grandeur réelle).

Nota. Dans toutes les projections, les mêmes lettres indiquent les mêmes objets.

Le terrain sur lequel ces machines sont établies est bordé d'un canal, dont une partie forme le coursier de la roue hydraulique qui les met en mouvement. Un mur M, M, *fig.* 1 et 2, sépare le coursier des machines, et sert d'appui à l'un des tourillons de l'arbre A de la roue hydraulique, de l'arbre B du boccard, et de l'arbre C du patouillet.

Sur le bout du tourillon de l'arbre A est fixée une roue d'engrenage D qui communique le mouvement au pignon E, *fig.* 1, monté sur l'arbre du boccard, et à la roue F, *fig.* 1 et 2, portée par l'arbre du patouillet.

Un mur N, N, se reliant au mur latéral M, M, et situé en arrière du boccard, contient les eaux de ce côté; dans ce mur sont placées trois vannes V, X, Y, destinées à donner à volonté l'eau nécessaire aux machines, au moyen de conduits en bois qui y aboutissent. Ces conduits, placés sous le sol, sont indiqués par des lignes ponctuées dans le plan. On voit, *fig.* 2, la coupe du conduit correspondant à la vanne V et aboutissant à l'auge du boccard.

Cette disposition générale connue, passons à la description des machines.

1°. *Boccard.* B, B, *fig.* 1 et 2, arbre moteur du boccard, dont le tourillon opposé au mur repose sur un support fixé sur une pièce de bois.

G, G. Manchon en fonte calé sur

l'arbre, dont on a augmenté le diamètre au moyen de douves jointives *d*, *d*, clouées solidement.

Dans ce manchon sont pratiquées vingt-quatre mortaises disposées en hélice, *fig.* 1, et dont chacune reçoit une came en fer *c*, serrée au moyen d'un coin de bois dur. Ces cames sont distribuées également dans six plans verticaux, en sorte que chaque plan vertical contient quatre cames diamétralement opposées deux à deux, *fig.* 2.

H, H. Montans ou piliers verticaux du boccard, maintenus dans leur position par des arcs-boutans appuyés contre les faces extérieures et latérales.

p, *p*, *p*. Pilons en bois de chêne, au nombre de six, jouant librement entre les montans. Chaque pilon est muni d'un mentonnet *m*, correspondant à une série de cames, et au moyen duquel il est soulevé par ces dernières. *b*, *fig.* 2, sabot en fonte.

a, *a*. Traverses en fonte ou en fer, reliant les montans H, H, par le haut et par le bas. Ces traverses forment les *prisons* des pilons.

Entre les montans, et sur leur semelle, *fig.* 2, est placée une forte plaque de fonte destinée à supporter le choc des sabots.

e, *f*, *h*, *i*, *fig.* 1 et 2. Auge ou huche du boccard, dans laquelle on jette le minerai qui doit être soumis au boccardage. Cette huche est fermée à sa partie antérieure par une grille *g*, composée de barreaux de fonte placés suivant leur diagonale, et laissant entre eux un espace pour le passage du minerai boccardé et entraîné par l'eau.

k, *l*. Conduits inclinés et découverts par lesquels le minerai se rend aux patouillets.

2°. *Patouillets*. Il y a deux patouillets tout-à-fait semblables, et que l'on fait travailler alternativement au lavage des minerais ou des laitiers qui ont passé sous les pilons.

I, K, L, O, *fig.* 1 et 2. *Huches* des patouillets, en forme de demi-cylindre, et composées de madriers en chêne bien joints. Les côtés IO, KL, *fig.* 1, sont formés par des plaques de fonte, échancrées pour laisser passer l'arbre C, C, commun aux deux patouillets. Ces échancrures *q*, *r*, *fig.* 2, descendent au-dessous de l'arbre, et la ligne du fond, qui est horizontale, fixe le niveau de l'eau dans les huches.

P, P, *fig.* 1. Portes des huches, prolongées en dehors par des conduits Q, Q, aboutissant à un bassin R, R, dont le fond et les parois sont revêtus en madriers.

S. Vanne de décharge, vers laquelle le fond du bassin incline de toute part. Un canal Z, partant de la vanne, sert à l'écoulement des eaux qui sont rejetées dans le coursier au-dessous de la roue hydraulique.

T, T. Plancher en madriers, bordant le pourtour du bassin, et sur lequel on relève et fait égoutter les minerais lavés.

U. Escalier pour descendre au bassin, *fig.* 1.

Xx, Yy, *fig.* 1. Conduits amenant l'eau dans les huches.

o, *o*, *fig.* 1 et 2. Palettes en fer, dont les queues sont implantées dans l'arbre et serrées par des coins également en fer. Ces palettes sont au nombre de quatre pour chaque huche; leurs surfaces sont inclinées d'environ 45°, et disposées de manière à porter le minerai alternativement de côté et d'autre.

n, *n*. Bras en fer carré de quinze lignes, au nombre de quatre pour chaque huche. Chaque bras est formé d'une seule barre doublement coudée, et dont la par-

tie parallèle à l'axe de rotation présente une diagonale dans le sens du mouvement. Les deux bouts des bras opposés sont engagés dans la même mortaise de l'arbre et serrés par un seul coin.

Ces bras passent à quatre ou cinq centimètres de la huche, et servent ainsi à remuer sans cesse le minerai qui y est contenu.

Fig. 3. Coupe d'une huche suivant la ligne 5, 6 du plan, faisant voir le canal *y*, *y* d'arrivée de l'eau ; la porte P et le conduit découvert Q par lesquels les minerais lavés se rendent dans le bassin. La porte est fermée ici par une simple plaque de tôle, portant à sa partie inférieure une tringle ou seulement deux boutons d'arrêt *z*, s'appuyant contre une bande de fer encastrée dans le seuil de la porte.

Fig. 4. Même coupe que la précédente, indiquant seulement un autre mode de fermeture de la porte. Il consiste en un coin *c*, coupé circulairement comme la huche, et dont la hauteur est telle qu'il s'engage facilement dans l'ouverture de la porte. On le soulève ensuite pour le faire joindre par le haut, et on le soutient dans cette position par un petit coin c'.

Fig. 5. Coupe de la séparation des huches, suivant la ligne 7, 8 du plan, montrant la disposition d'un des bâtis en charpente à l'intérieur desquels sont cloués les madriers des huches, après que les montans obliques ont été arrondis convenablement dans la moitié de leur épaisseur.

q', q', *fig.* 1 et 5. Canal d'écoulement des eaux bourbeuses qui s'échappent par l'échancrure des plaques de séparation. Ce canal se prolonge sous terre, en inclinant fortement vers le coursier auquel il aboutit. Cette disposition exige que le fond des échancrures des plaques intermédiaires soit plus bas que celui des plaques latérales.

Fig. 6. Élévation du logement des vannes V, X, Y, les vannes étant enlevées.

Fig. 7. Coupe horizontale passant par les trois ouvertures et indiquant la disposition des feuillures dans lesquelles glissent les vannes.

PLANCHE 2.

Détails de boccards et patouillets.

Fig. 1 à 6. Échelle de $\frac{6}{100}$ de la grandeur réelle.

Fig. 7 à 15. Échelle de $\frac{12}{100}$ de la grandeur réelle.

Fig. 1. Élévation, par devant, de la batterie du boccard, et coupe des conduits aboutissant aux patouillets.

Fig. 2. Coupe faite suivant la ligne 1, 2, *fig.* 1, la grille seule étant en place.

Fig. 3. Coupe perpendiculaire au manchon porte-cames.

Fig. 5. Élévation latérale de la batterie du boccard.

H, H, *fig.* 1, 2, 3 et 5. Montans du boccard, assemblés par les traverses *a*, *a* ou prisons des pilons, et consolidés à leur partie inférieure par trois arcs-boutans chacun.

s, *t*, *fig.* 2 et 3. Grande plaque en fonte encastrée de son épaisseur dans chacun des montans.

v, *v*, *fig.* 1 et 5. Plaques en fonte

encastrées dans les montans, percées de mortaises, et servant d'appui aux têtes des traverses, ainsi qu'aux clavettes x', x', dont chacune serre à la fois les traverses placées à même hauteur.

p, *p*, *fig.* 1 et 3. Pilons munis de leurs mentonnets *m*, *m*, serrés au moyen de clefs m', m'.

g, *g*, *fig.* 1, 2 et 3. Grille en barreaux de fonte placés entre des coulisses *u*, *u*, faisant corps avec les plaques *s*, *t* des montans.

S, *fig.* 1, 2 et 5. Support de tourillon de l'arbre à cames, fixé sur une pièce de bois boulonnée elle-même avec d'autres pièces transversales noyées dans un petit massif de maçonnerie.

x, *y*, *fig.* 1. Conduits en bois, amenant l'eau dans les huches du patouillet.

B, *fig.* 3 et 4. Arbre du boccard, rechargé de douves *d*, *d*.

G, G. Manchon en fonte portant les cames et calé sur le renfort de l'arbre au moyen de longs coins en bois, comme l'indique la *fig.* 4.

c, *c*. Cames en fer plat avec leurs coins de serrage c', c'.

e, *f*, *h*, *i*, *fig.* 3. Auge du boccard, garnie intérieurement en bois, et ayant son pourtour supérieur garni de madriers ou de plaques de fonte mis à plat. — Le conduit *kl* est également garni en bois.

s, *t*, *fig.* 6. Plaque de montant, percée de quatre trous rectangulaires, pour recevoir les traverses, et portant deux nervures *u*, *u* qui forment la coulisse de la grille.

p, *fig.* 7. Partie de pilon, indiquant à une plus grande échelle le mentonnet *m* et sa clef m'; la frette en fer f' et le sabot *b* du bout du pilon.

b, *fig.* 8. Coupe du sabot, lequel est fixé à la tige en bois du pilon au moyen d'une forte broche à tête.

Fig. 9. Plan du sabot vu en dessus.

m, *fig.* 10. Mentonnet vu en dessus.

g, *g*, *fig.* 11. Partie de grille montrant les barreaux en élévation.

g', g', *fig.* 12. Plan d'un barreau vu en dessus.

g'', *fig.* 13. Coupe transversale d'un barreau.

o, *fig.* 14. Palette du patouillet vue de face. — o', *fig.* 15. Coupe de la tige, faite en fer carré de 35^{mm} (15 lignes).

PLANCHE 3.

Fours de grillage de l'usine de Lavoulte (Ardèche), par M. Walter.

Pour alimenter de minerai grillé les quatre hauts fourneaux de l'usine de Lavoulte, il y a six fours de grillage à cuves ovoïdes, accolés sur une même ligne. Nous présentons seulement ici les deux fours extrêmes rapprochés, les fours intermédiaires ayant tous la même disposition que les deux moitiés de fours séparées par la voûte V, *fig.* 2.

Fig. 1 à 6. Échelle de $\frac{11}{1000}$; *fig.* 7 à 17. Échelle de $\frac{14}{1000}$.

Fig. 1. Élévation des fours par devant, indiquant la voûte V qui les sépare; les embrasures antérieures E; les poitrines *p*, *p* de ces embrasures et les ouvreaux de décharge *o*, *o* qui y sont ménagés.

Les angles du massif, les pieds-droits et les têtes de voûtes ou d'embrasures, sont construits en pierre de taille. Le reste du massif est construit en moellons, et couronné d'un cordon saillant en pierre de taille. De larges rondelles en fonte,

maintenues par des tirans pris dans les maçonneries, s'opposent aux effets de la dilatation.

Fig. 2. Plan ou section horizontale passant par les ouvreaux.

Fig. 3. Coupe longitudinale suivant la ligne 1, 2 du plan.

Fig. 4. Coupe transversale suivant la ligne 3, 4.

Fig. 5. Plan d'un four vu en dessus.

A, A, *fig.* 2 et 4. Canal régnant dans toute la base du massif du côté qui est adossé aux terres, pour recevoir les eaux et préserver les fours de toute humidité.

B, B. Barbacanes pratiquées de distance en distance dans le pied-droit extérieur du canal, pour l'écoulement des eaux absorbées par les terres.

V, *fig.* 1 et 2. Voûte de séparation des fours.

E, E, *fig.* 1, 2, 3 et 4. Embrasures des ouvreaux de décharge.

v, *v*, *fig.* 1 et 2. Petites voûtes circulaires, pratiquées dans les pieds-droits des extrémités pour établir la communication entre les embrasures.

C, C, *fig.* 2, 3, 4 et 5. Fond des cuves, communiquant chacune avec les embrasures par trois ouvreaux *o*, *o*, *o*; ces ouvreaux sont formés par des plaques de fonte, et servent à retirer le minerai à mesure qu'il est grillé.

p, *p*. Poitrines des embrasures, construites en briques et légèrement cintrées pour résister à la poussée intérieure. On peut aussi les faire planes et en moellons, en les armant de pièces transversales en fonte ou fer.

C, G, H, *fig.* 3 et 4. Cuve ovoïde de l'un des fours, revêtue intérieurement en briques demi-réfractaires, maçonnées avec de l'argile, ou en pierres, ayant la même propriété et maçonnées de même. Le sommet de la cuve est recouvert de plaques de fonte *i*, *i*, retenues par des crampons *i*, *h*, *fig.* 3, scellés dans la maçonnerie.

Tracé de la cuve, *fig.* 4. La hauteur CF est de 5ᵐ50, non compris l'épaisseur des plaques de recouvrement. Le diamètre du fond C est de 1ᵐ, et le diamètre supérieur GH de 3ᵐ50. Pour tracer le profil, on a pris CD égal à $\frac{2}{5}$ de CF, puis avec un rayon DI de 2ᵐ25 on a décrit des arcs de cercle, auxquels, menant des tangentes par les extrémités des diamètres inférieur et supérieur, on obtient la forme ovoïde indiquée par la figure. Le tracé est d'ailleurs combiné de manière que l'angle formé par les arêtes du cône inférieur avec le plan horizontal soit d'environ 60 degrés. Cette inclinaison est nécessaire pour que les matières descendent facilement contre les parois de la cuve.

Construction de la cuve, *fig.* 3. Pour assurer la régularité de cette construction et lui donner exactement les dimensions voulues, on emploie un gabari, tournant autour d'un axe vertical.

a, *b*. Arbre servant d'axe, équarri dans sa partie inférieure, que l'on plante au centre du fond de la cuve, et arrondi dans toute la partie *bb*.

e, *c*, *d*, *g*, *f*. Profil ou gabari de la cuve. Il est construit en bois léger, et disposé de manière à ne pouvoir pas changer de forme. Des colliers en fer *cd*, *ef*, boulonnés sur les traverses inférieure et supérieure, embrassent l'arbre sans le serrer, de sorte que le gabari peut tourner librement; et il est maintenu à la hauteur convenable par le collier *ef* qui repose sur l'embase formée par le carré de l'arbre.

On fait tourner le gabari à mesure que l'on élève les assises, et l'on pose les pierres ou les briques en ne laissant au profil

que le jeu nécessaire pour son mouvement.

t, *t*, *fig.* 3, 4 et 5. Tirans en fer, clavetés d'une part avec les rondelles en fonte *r*, *r*, et retenus de l'autre par de fortes ancres scellées dans la maçonnerie ou s'appuyant sur la face postérieure du massif.

i, *i*, *i*. Plaques de fonte au nombre de six, recouvrant le pourtour supérieur de la cuve.

Fig. 7. Plaque en fonte, formant la semelle ou le fond des ouvreaux, et dans laquelle sont pratiquées deux longues mortaises *mn*.

Fig. 8. Joue d'ouvreau, portant deux tenons *pq*, *p'q'*. Le premier se loge dans une des mortaises *mn* de la semelle.

Fig. 9. Recouvrement d'ouvreau portant deux mortaises *m'n'* qui emboitent les tenons *p'q'* des joues.

Fig. 10, *i*, *i*. Une des plaques de recouvrement de la cuve, dont on voit l'épaisseur figurée en *i' i'*.

Fig. 11 et 12. Vue de face et coupe d'une des rondelles d'armature.

cd, *fig.* 13. Élévation de l'un des colliers du gabari.

c'd', *fig.* 14. Plan du même collier, embrassant la traverse supérieure.

Fig. 15. Partie de l'arbre du gabari; *a*, partie carrée formant embase, *b* partie arrondie. La *fig.* 16 montre les mêmes parties *a'b'*, en plan.

Fig. 6. Coupe d'un four de grillage à cuve conique, ayant la même hauteur et les mêmes diamètres inférieur et supérieur que les fours décrits précédemment. E, embrasure; *o*, ouvrau de décharge.

Fig. 17. Ringard à pointe ou aiguille dont se servent les ouvriers grilleurs pour dégager le four lorsque les matières se tassent trop ou viennent à se coaguler par suite d'une trop forte chaleur.

Le minerai arrive aux fours par la plate-forme supérieure à laquelle ils sont adossés. Au sortir des ouvreaux de décharge, les ouvriers le jettent en avant des fours, sur une plate-forme de niveau avec celle des hauts fourneaux. Un petit chemin de fer longeant les fours de grillage et les hauts fourneaux devait servir au transport du minerai, au moyen de chars; mais cette disposition a été ajournée.

PLANCHE 4.

Fours de grillage de l'usine d'Abersychan, pays de Galles (sud), par M. Philipp Taylor.

L'usine d'Abersychan renferme dix fours de grillage pour préparer le minerai nécessaire à six hauts fourneaux de grandes dimensions. Ces fours sont réunis dans un même massif, *fig.* 1, 2 et 3, et séparés deux à deux par des voûtes V, dans lesquelles sont placés des chemins de fer B, B, aboutissant d'une part à l'atelier de carbonisation, et d'autre part aux portes de chargement des hauts fourneaux.

Ces fours, ainsi que celui représenté *fig.* 8 et 9, sont dessinés à l'échelle de $\frac{1}{96}$.

Fig. 1. Coupe longitudinale passant par le milieu des cuves.

Fig. 2. Plan d'un four vu en dessus.

Fig. 3. Coupe horizontale par la ligne 1, 2, *fig.* 1.

Fig. 4. Coupe transversale par la ligne 3, 4, *fig.* 2.

Fig. 5. Élévation d'un bout du massif, indiquant un des passages voûtés V avec son chemin de fer B, B, et l'embrasure E de l'un des fours.

G C H, *fig.* 1 à 4. Cuves des fours de forme cylindrique jusque vers le milieu de leur hauteur, et de forme ovoïde dans la partie inférieure. Elles sont construites en briques réfractaires.

o, *o*, *fig.* 3, 4, 5. Ouvreaux de décharge, formés par un cadre en fonte.

E, E. Embrasure des ouvreaux de décharge.

p, *fig.* 4. Plaque en fonte formant la poitrine de l'embrasure.

P, P, *fig.* 1 à 5. Parapet couronnant le massif des fours, et laissant un passage à chaque extrémité.

D, D, *fig.* 1, 2, 4 et 5. Ligne de chemin de fer pour amener le minerai aux fours de grillage.

S, *fig.* 1, 2, 5. Escalier de service.

A, A, *fig.* 2, 3 et 4. Murs en éperon, construits de chaque côté des voûtes, et s'appuyant à la face postérieure du massif. Les intervalles compris entre ces murs servent de dépôt et d'atelier de cassage pour la pierre calcaire employée comme fondant.

Les chemins de fer B, B, servent ainsi à conduire aux hauts fourneaux toutes les matières premières nécessaires au fondage.

o, *fig.* 6. Cadre d'ouvreau vu par devant. *o'*, *fig.* 7. Vue latérale du même cadre.

Fig. 8 et 9. *Four de grillage de l'usine de Pentwyn, par M. Taylor.*

I, F, G, H, *fig.* 8. Cuve en briques réfractaires, formée d'un cylindre assis sur un cône tronqué renversé.

a, *a*, *fig.* 8 et 10. Plaque en fonte à rebords, et portant une ouverture circulaire à rebords F, I. La petite base du cône repose sur cette plaque.

p, *p*. Plaques de poitrine des embrasures E, E.

b, *b*, *fig.* 8 et 9. Traverses en fonte supportant la grille.

g, *g*. Grille formée de barreaux en fonte à doubles talons, qui s'encastrent entre les traverses.

o, *o*, *fig* 8. Ouvreaux de décharge de même largeur que la grille *g*.

C, *fig.* 8. Cendrier destiné à recevoir les cendres du combustible et les criblures du minerai. Cette disposition évite de passer le minerai à la claie au sortir des fours, et le dégage suffisamment des matières qui pourraient entraver le fondage.

PLANCHE 5.

1°. *Carbonisation du bois.*

Les *fig.* 1 à 4 représentent les diverses dispositions usitées pour carboniser le bois en *meules*; les *fig.* 5 à 9, celles que l'on emploie lorsqu'on carbonise en *tas*.

Les meules ou les tas sont formés de bûches arrangées de diverses manières sur un emplacement A, A, que l'on nomme *aire* ou *faulde*.

Construction des meules. Ce mode de

carbonisation exige qu'on réserve au centre des masses une *cuve*, c'est-à-dire un vide destiné à recevoir et à propager le feu.

Pour former ce vide, on plante au centre de la faulde une perche B, *fig.* 1, de $0^{m}22$ à $0^{m}25$ (8 à 9 pouces) de diamètre, bien dressée et le plus gros bout en haut; ou bien trois longs piquets *c*, *c*, *c*, *fig.* 2 et 3, disposés en triangle et laissant entre eux un espace de 8 à 9 pouces. L'écartement de ces piquets est maintenu, soit par un bille en bois K, *fig.* 2, que l'on soutient à une hauteur telle qu'elle dépasse le sommet de la meule lorsqu'elle sera achevée; soit par de petits cadres ou étresillon C, C, *fig.* 3. La meule faite, on enlève la perche ou la bille.

La cuve peut encore se former à mesure que l'on élève la meule, au moyen de petites bûches I, I, empilées en carré, *fig.* 4. Ce dernier moyen, quoique assez commode, est cependant généralement moins employé que les autres, parce qu'il laisse trop de vide et qu'il rend la construction de la meule plus difficile.

Fig. 1. *Meule à bois couché.* D, D, Noyau en bois de bout, et composé de deux ou trois piles, suivant la grandeur qu'on veut donner à la meule.

E, E. Bûches rangées en rayons par couches horizontales, et dont on remplit les intervalles avec de plus petits bois. A mesure qu'on s'élève, on donne aux couches un moindre diamètre, de manière que la meule ait une forme arrondie, et que sa surface extérieure soit en forme de gradins.

F. *Petit haut* ou *calotte*, formé de petits bois et de menus branchages, toujours disposés en rayons et aussi serrés que possible.

Fig. 2 et 3. *Meules en bois de bout.* Elles se construisent en dressant les bûches D, D, par couches concentriques bien serrées autour de la cuve, et en ne leur donnant que l'inclinaison strictement nécessaire à la construction de l'enveloppe. Elles se composent de deux ou trois piles selon leur grandeur, et leur calotte F se fait comme précédemment.

Fig. 4. *Meules mixtes.* Dans ces meules, chaque pile D, en bois de bout, repose sur une couche horizontale que l'on nomme *plancher*. Cette disposition ne présente aucun avantage particulier, si ce n'est que les planchers, formant une saillie à chaque étage, servent, comme les gradins des meules en bois couché, à retenir l'enveloppe du fourneau.

Enveloppes ou *chemises*. Les meules étant construites, il faut les couvrir, ce qui s'appelle *bouger* ou *habiller*. Pour cela, on remplit d'abord aussi bien que possible tous les intervalles que les bûches laissent entre elles à la surface, avec de menus bois qu'on nomme *bois de chemise*; puis on forme au pied de la meule une ceinture *d*, *d*, *fig.* 2, composée de branchages s'élevant à $0^{m}15$ ou $0^{m}16$ au-dessus du sol, et retenus par des fourches de bois fichées en terre; ou bien de billes de 1^{m} à $1^{m}25$ de longueur, laissant entre elles de petits intervalles pour donner passage à l'air et aux vapeurs.

La ceinture achevée, on donne à la meule une première enveloppe composée d'herbes, de feuillages, ou de gazons dont la chevelure est tournée vers le bois. Cette dernière méthode est préférable lorsqu'on peut l'employer. L'épaisseur de cette première enveloppe varie de 8 à 13 centimètres (3 à 5 pouces), selon la qualité des matériaux employés, mais on la renforce à la calotte, afin qu'elle résiste mieux à l'action du feu. La seconde

enveloppe H, H se compose de terres ni trop compactes, ni trop sablonneuses, ou bien de fraisil arrosé d'eau. L'épaisseur de cette couverture est ordinairement de 6 à 8 cent., sauf à la calotte, où elle est un peu plus forte.

La nature des terres qui composent la couverture détermine l'inclinaison à donner aux meules. Si les terres sont assez consistantes, l'inclinaison doit être faible, comme on le voit *fig.* 1. Pour des terres légères et susceptibles de s'ébouler facilement, on dispose le tas comme dans la *fig.* 2. Si l'on fait usage de fraisil ou terre de charbonnier arrosée d'eau, on donne à la meule une inclinaison moyenne, *fig.* 3. Dans ce cas, on soutient quelquefois la couverture dans le milieu de sa hauteur, par un ou deux rangs de branchages ou de dosses *a*, *a*, supportés par des fourches ou des étais *b*, *b*. Presque toujours aussi on supprime la ceinture ou les canaux du pied de la meule, parce qu'on peut les ouvrir au besoin dans le fraisil.

e, *f*, *g*, *fig.* 1. Ouverture d'environ 3 centimètres de diamètre percée dans la partie inférieure de la couverture, pour attirer le feu jusqu'à la base. On perce d'abord les ouvertures supérieures, puis on les ferme lorsque la fumée qui en sort devient légère et bleuâtre, pour percer successivement plus bas jusqu'à la ceinture ou au sol.

Fig. 10 et 11. Faulde permanente pour recueillir une partie de l'acide et du goudron qui se forment pendant la carbonisation. On ne l'emploie que lorsque les bois peuvent être facilement réunis sur un même point.

a. Aire en briques ayant la forme d'un cône très évasé, de 5ᵐ30 environ de diamètre sur 0ᵐ50 de profondeur.

r. Récipient placé au centre, ayant 0ᵐ65 de diamètre sur 0ᵐ25 de profondeur. Ce récipient est recouvert d'une plaque en fonte *d*, *d*, de forme à peu près carrée, de manière que, sur chaque côté, elle laisse un passage aux produits qui se condensent

b. Canal en briques ayant 0ᵐ16 d'ouverture en carré.

c. Réservoir également en briques, placé en dehors de la faulde, et dans lequel se rendent l'acide et le goudron. Il est carré de 0ᵐ65 de côté; sa profondeur totale est de 1ᵐ80, et le canal y aboutit à environ 0ᵐ80 au-dessus du fond.

f, plaque en fonte fermant le réservoir, et recouverte de terre battue pendant l'opération, pour interdire tout accès à l'air par le canal. La meule se construit d'ailleurs comme il a été précédemment indiqué.

Construction des tas. Les dimensions des tas varient suivant la longueur des bois; les plus ordinaires sont de 8ᵐ (24 à 25 pieds) de longueur sur 2ᵐ60 (8 pieds) de largeur, et alors les bois peuvent être coupés en billes de 4 ou 8 pieds de longueur.

Le pourtour du tas étant tracé, *fig.* 7 et 9; parallèlement à ce pourtour et à 30 ou 35 centimètres en dehors, on plante des piquets *dd* espacés entre eux de 0ᵐ65 à 1ᵐ (2 à 3 pieds), et enfoncés en terre de 0ᵐ40 à 0ᵐ50. A l'une des extrémités du tas, ces piquets s'élèvent de 2ᵐ30 à 3ᵐ (7 à 9 pieds) au-dessus du sol, et ils diminuent successivement de hauteur jusqu'à l'autre extrémité, *fig.* 5, 6 et 8, où ils n'ont plus qu'environ 1ᵐ (3 pieds) hors de terre. Ces piquets sont destinés à soutenir la *chemise* ou couverture du tas; dans les terrains inclinés les plus grands se placent au point le plus élevé.

Sur le sol de la faulde A, *fig.* 6 et 8, on place d'abord de longs bois fendus ou des branches droites, dans le sens de la longueur, comme on le voit en *ee*. Elles servent de lit au bois, et s'opposent à l'effet de l'humidité. Sur ces branches sont placées les billes, soit transversalement comme l'indiquent les *fig.* 6 et 7, soit longitudinalement comme dans les *fig.* 8 et 9. Pour la première disposition on emploie de préférence des bûches de 8 pieds de longueur et on les place sans trop avoir égard à leur grosseur, en réservant néanmoins les plus gros blocs pour les mettre vers la *tête* ou *sommet* du tas. On remplit les vides autant que possible avec des pointes d'arbre, et les plus petits bois forment la couche supérieure, qui est ensuite recouverte de bois fendu ou de branches *gg*, *fig.* 6 et 7. La disposition longitudinale ne diffère de la précédente que par l'arrangement des bois, et l'on y observe les mêmes précautions. On y emploie de préférence des bois refendus, mais on ne refend cependant que ceux de plus de 25 centimètres (9 pouces) de diamètre. La longueur du tas n'est pas ici limitée par sa largeur, et peut être beaucoup plus grande, parce que la circulation de l'air se fait plus facilement.

Chemise ou *couverture*. Les côtés des tas sont élevés verticalement, et garnis, sur une épaisseur de 16 à 20 centimètres (6 à 7 pouces), de fraisil humecté, bien battu et soutenu par des dosses ou planches *f*, *f*, *fig.* 5 à 9, des branchages ou des claies, appuyés contre les piquets *d*. Le dessus des tas est recouvert avec du feuillage ou des rameaux et ensuite avec du fraisil *h*, *h*, *fig.* 6, 7 et 8.

La figure 5 représente un tas en perspective, et l'on voit sur le devant l'ouverture P, ménagée pour y mettre le feu. En formant le lit et construisant le tas, on a soin de placer en cet endroit des bois menus et secs, des copeaux ou des éclats de bois, pour faciliter l'*allumage*. Les trous *a*, *b*, *c*, percés dans les dosses servent à attirer la combustion jusqu'au lit, pour compléter la carbonisation comme dans les meules.

Les *fig.* 8 et 9 représentent un tas disposé pour recueillir l'acide pyroligneux et le goudron qui se forment pendant la carbonisation.

Vers le haut du tas sont trois tuyaux *a* traversant l'enveloppe jusques près du bois et bien lutés tout autour. Ces tuyaux se réunissent dans une espèce d'entonnoir aplati, attenant au tuyau réfrigérant *b*, auquel il convient également de donner une forme plate afin qu'il offre plus de surface exposée au refroidissement. Ce tuyau traverse un tonneau *c* aussi grand que possible, et alimenté sans cesse par un filet d'eau froide; l'extrémité de ce tuyau entre dans un récipient *i* fermé à sa partie supérieure, ouvert à sa partie inférieure, et placé sur des chantiers dans une autre cuve *k*. Ce récipient reçoit l'acide, les huiles et le goudron condensés, que l'on fait écouler par un robinet *r*. Un autre tuyau *g*, d'environ 11 centimètres de diamètre (4 pouces), partant du récipient *i*, va traverser le tonneau *c*, et a pour but d'éconduire les produits qui échappent à la condensation. Une partie des vapeurs se condensent encore dans ce tuyau incliné et retombent dans le récipient. Tous les tuyaux sont en fonte; les cuves sont en bois.

2°. *Carbonisation de la houille en gros fragmens.*

La *fig.* 12 représente une disposition en tas pour carboniser la houille en gros

morceaux, et la *fig.* 13 une section transversale du tas, suivant la ligne 1, 2 de l'élévation D, D.

La faulde, à laquelle on donne une légère inclinaison du centre vers les bords, est construite soit en briques de champ A, A, *fig.* 12 et 13, soit simplement en terre bien battue A', *fig.* 12.

Dans le milieu de la faulde on enfonce des piquets B, B de 12 à 13 centimètres de diamètre, alignés au cordeau, et espacés entre eux de 0^m65 à 0^m70 pour les houilles moyennes, de 0^m90 à 1^m pour les houilles grasses.

Ces piquets servent à former les cheminées *c* par lesquelles on allume le tas. On place ensuite de part et d'autre du cordeau, les plus gros morceaux de houille, en les inclinant l'un vers l'autre, de manière à former un canal *o*, *fig.* 13, qui règne sur toute la longueur de l'aire, et dont la largeur doit être d'autant plus considérable que la houille est plus maigre. Cette largeur peut varier de 15 à 20 centimètres. Contre ces rangées on appuie, en laissant le moins de jours possible, les rangées suivantes dont les morceaux diminuent successivement de volume. On forme ensuite les couches supérieures de morceaux de plus en plus petits, en ayant soin de les bien appuyer les uns contre les autres autour des piquets. On donne au tas une forme arrondie transversalement, et lorsque sa hauteur a atteint 60 à 65 centimètres au milieu, on recouvre toute sa surface de menuailles D, D, *fig.* 12 et 13, tant pour servir de couverture que pour modérer l'influence de l'air. Cette hauteur doit être plus considérable pour les houilles très grasses, et peut aller jusqu'à 1 mètre; il faut aussi dans ce cas que la couverture soit plus épaisse ou composée de charbon très menu, afin de ralentir la combustion.

PLANCHE 6.

1°. *Carbonisation de la houille en morceaux* (suite).

Fig. 1 et 2. Carbonisation en meule usitée dans le Staffordshire. Echelle de $\frac{1}{40}$.

Elle se pratique sur une aire ou faulde permanente dont le centre est occupé par une cheminée à claire-voie, autour de laquelle on dispose la houille à carboniser.

a, *a*, petit massif en maçonnerie de 0,35 à 0,40 de hauteur, sur 1^m25 à 1^m30 de diamètre, et terminé par une assise en briques réfractaires affleurant le sol.

On élève sur cette assise une espèce de cheminée en forme de cône tronqué, ayant 1^m20 à 1^m50 de hauteur, sur 0^m85 à 0^m90 de diamètre à sa base, et de 0^m65 à 0^m70 à sa partie supérieure. On se sert à cet effet de briques réfractaires placées de manière à laisser des vides dans chaque assise, de telle sorte que chaque brique *b* recouvre un vide *c* du rang immédiatement au-dessous d'elle. Selon la longueur des briques, le vide intérieur a de 0^m35 à 0^m40 de diamètre à la base, et de 0^m16 à 0^m20 au sommet. Les deux ou trois dernières assises sont pleines.

d, tuyau en fonte de 0^m25 à 0^m30 de hauteur sur 0^m20 à 0^m22 de diamètre intérieur, surmontant la cheminée et

muni d'un couvercle pour le fermer au besoin.

Construction de la meule. On range autour du pied de la cheminée les plus gros morceaux de houille sans les briser quel que soit leur volume, puis autour de ce noyau on place des morceaux diminuant successivement de grosseur à mesure qu'on approche de la circonférence. Sur cette première couche on en met une deuxième, et ainsi de suite, jusqu'à ce qu'on soit parvenu au sommet de la cheminée, ayant soin de toujours placer les plus gros morceaux au centre, et de diminuer l'épaisseur des couches vers les bords afin de donner au tas une forme arrondie en dessus. Les morceaux les plus petits sont placés par dessus, et l'on recouvre toute la meule de houille menue pour boucher les vides que laissent entre eux les fragmens. Cela fait, on applique sur toute la surface du tas une couverture de fraisil de 6 à 8 centimètres d'épaisseur, on l'arrose d'eau et on la bat avec une pelle, pour qu'elle soit percée moins facilement par la flamme et par la fumée.

Lorsqu'on carbonise de la houille grasse ou demi-grasse, les vides existans entre les fragmens, et qu'on laisse subsister à dessein, surtout autour de la cheminée et vers la partie inférieure de la meule, suffisent pour propager et faciliter la combustion; mais si l'on dispose de houilles assez maigres, il faut, si l'on veut leur appliquer ce mode de carbonisation, réserver dans la première couche, de petits canaux *e*, *f*, aboutissant aux vides de la base du cône. Ces canaux sont au nombre de 4 pour les petites meules, et de 6 pour les grandes.

Le diamètre de la base des meules est ordinairement de 4 mètres lorsque la cheminée a 1^{m}20 de hauteur, et de 5^{m}50 à 6^{m}, lorsque l'élévation du cône est de 1^{m}50. En général plus la houille est grasse plus il faut donner de hauteur aux meules.

g, *g*, *fig.* 1, cavités pratiquées dans la meule, après la carbonisation achevée, au nombre de 8 pour les petites meules, de 16 pour les grandes, et dans lesquelles on verse de l'eau pour éteindre le coke et enlever encore une partie du soufre qu'il retient.

2°. *Carbonisation de la houille menue à découvert.*

Les *fig.* 3, 4 et 5 représentent le mode de carbonisation en tas, et les *fig.* 6, 7 et 8, la carbonisation en meule, usités dans les usines de Terre-Noire et du Janon, près Saint-Etienne (Loire). Échelle de $\frac{1}{40}$.

Fig. 3, élévation latérale et coupe d'une partie de tas; *fig.* 4, section transversale, suivant la ligne 3, 4, *fig.* 3; *fig.* 5, plan d'un tas en construction.

Construction des tas. BCGH, *fig.* 3, RABH, *fig.* 5, partie de moule prismatique construit en planches réunies par des crochets et soutenues dans une position inclinée au moyen de piquets de fer que l'on enfonce intérieurement de distance en distance. D'autres piquets extérieurs les maintiennent alignées par la base.

B, C, *fig.* 3, ABCD, *fig.* 5, tête du moule, s'assemblant avec les trapèzes BCEF qui commencent les côtés.

EFGH, IKLM, NOPQ, planches formant les côtés du moule, et ayant 0^{m}65 de largeur. Ces planches sont percées de trois trous disposés soit comme en EFGH, soit comme en IKLM.

On donne au moule 4^{m} environ de longueur, et son autre extrémité est terminée comme la première, sauf que les

petits trapèzes de côté sont percés à leur base, et que la planche de tête ne porte que trois trous. Sa largeur est de 1ᵐ30 à 1ᵐ60 en bas, et de 0ᵐ65 à 0ᵐ80 en dessus; sa hauteur est de 1ᵐ20 à 1ᵐ30.

ab, *fig.* 3, 4 et 5, grand piquet de 4ᵐ50 de longueur environ, sur 0ᵐ15 à 0ᵐ16 de hauteur et 0ᵐ12 de largeur, frété et muni d'un anneau à l'une de ses extrémités. Il traverse le moule dans sa longueur, et ses dimensions vont en diminuant un peu vers l'extrémité *b*, pour qu'on puisse le retirer plus aisément.

cd, *cd*, *fig.* 4 et 5, piquets de 8 centimètres de diamètre, un peu coniques, à frette et anneau, engagés dans les trous de la base du moule et venant s'appuyer perpendiculairement sur le premier. Tous les piquets de la base étant placés, on place successivement les piquets verticaux *ef*, *fig.* 3 et 4, projetés en *e*, *fig.* 5, et pour les maintenir on charge en houille fortement tassée, que l'on élève jusqu'au second rang de trous.

gh, *gh*, *fig.* 4 et 5, second rang de piquets semblables aux premiers, et qui viennent rejoindre les piquets verticaux. Lorsqu'ils sont placés on élève la houille jusqu'au troisième rang de trous.

ik, *ik*, troisième et dernier rang de piquets aboutissant toujours aux pieux verticaux, et qu'on recouvre encore de houille bien battue jusqu'à ce que le moule soit plein.

On achève le tas d'un côté seulement, comme on le voit *fig.* 5; lorsqu'on veut le prolonger, alors on démonte la tête opposée à la partie finie, dont on enlève les planches latérales et les piquets; puis, après avoir tiré le piquet *ab* d'une quantité suffisante, on reconstruit une partie de moule et de tas comme ci-dessus, en continuant tant qu'on le juge convenable, ou que l'emplacement le permet.

Le tas étant achevé, on enlève tous les piquets, ainsi que les parties du moule, et il est prêt à être mis en feu.

Construction des meules. Elle est tout-à-fait analogue à celle des tas. Le moule est un cône tronqué de 4ᵐ de diamètre à la base, 2ᵐ75 à 3ᵐ à la partie supérieure, et de 1ᵐ20 de hauteur, formé de planches légèrement cintrées et percées chacune de trois trous.

Fig. 7, plan d'une meule vue en dessus.

Fig. 6, élévation d'une partie de moule, et coupe de la meule suivant 5, 6 du plan.

Fig. 8, coupe horizontale passant par les trous inférieurs.

ab, *fig.* 6; *a*, *fig.* 8, piquet central de 10 centimètres de diamètre.

ac, *ac*, *fig.* 6 et 8, grands piquets de même diamètre, passant par six des trous de la base et aboutissant au piquet central.

de, *de*, *fig.* 8, autres piquets de 8 centimètres de diamètre, aboutissant à peu près au milieu des précédens.

ef, *fig.* 6, *e*, *e*, *fig.* 8, piquets verticaux placés sur les grands piquets en rayons.

La *fig.* 7 indique les cheminées *a*, *e*, formées par les piquets verticaux, et la disposition des piquets horizontaux de chaque rang, remplacés par des lignes ponctuées. Ainsi les piquets adjacens *de*, *de*, aboutissent à la cheminée placée sur le rayon *ac* de la base; les piquets *ih*, *ih*, du second rang, aboutissent vers le milieu *h* du rayon *ag*, du même rang; les piquets *lm*, *lm*, du troisième étage, aboutissent au rayon *ak* du même étage; et ainsi de suite en recommençant au rayon *ac* de la base.

Le moule des dimensions ci-dessus,

contient 100 hectolitres de houille menue bien tassée.

On voit par ces dispositions, qu'une fois les piquets enlevés, les tas et les meules sont criblés de canaux qui, se croisant en tous sens, permettent au feu de se propager facilement.

Fig. 9 et 10. Fourneau ouvert de Torteron (Nièvre). Echelle de $\frac{1}{40}$.

Dans l'usine de Torteron, au lieu de fabriquer le coke en plein air, on le fait dans une enceinte de murs, formant un fourneau ouvert à sa partie supérieure.

La *fig.* 10 est un plan du fourneau en partie rempli de houille; *fig.* 9, coupe du fourneau suivant la ligne 7, 8 du plan.

M, M, murs d'enceinte construits en briques et ayant un talus, afin de mieux résister à la poussée produite par le gonflement de la houille. Ils forment l'enceinte ABDE, qui a de 5 à 6^{m} de longueur sur 2^{m} de largeur; leur hauteur varie de 1^{m} à 1^{m}10.

P, P, portes ménagées dans les bouts, pour charger et décharger le fourneau. On les muraille avec des briques et de la terre lorsque le chargement est fait.

F, F, sole faite en briques de champ.

C, C, canaux de 11 centimètres de largeur sur 12 à 13 de profondeur, réservés dans la sole, traversant les murs, et espacés de 42 à 45 centimètres de milieu en milieu. Ils servent à placer des brins de bois pour l'allumage, et à établir à volonté une circulation d'air.

H, H, partie du fourneau chargée en houille menue bien tassée, et élevée dans le milieu, jusqu'à 25 ou 30 centimètres au-dessus des murs.

a, *a*, *a*, trous percés dans la houille, partie au-dessus des canaux C, C, partie intermédiairement, afin de faciliter la combustion. On les fait avec une barre de fer pointue de 35 millimètres (15 lignes) de diamètre.

PLANCHE 7.

Fig. 1 *à* 5. *Fours de carbonisation pour la houille établis à Rive-de-Gier (Loire), par M. Walter; échelle de* $\frac{1}{10}$.

Ces fours, de forme elleptique, sont accolés et réunis au nombre de trois ou quatre dans un même massif, tant par économie de construction que pour la commodité du service. Plusieurs massifs sont placés sur une même ligne, et l'on a réservé entre eux un espace d'environ 1^{m}50 pour faciliter la circulation dans l'atelier. Si l'on est obligé d'établir plusieurs lignes parallèles de fours, il faut réserver entre elles un espace libre d'environ 15^{m}, tant pour recevoir la houille à carboniser, que pour y étendre le coke après le défournement.

Les dimensions adoptées sont à peu près les plus grandes que l'on puisse donner sans rendre trop difficiles le service et la conduite des fours. Ils ont dans œuvre 5^{m}75 de longueur, 2^{m}85 de largeur, 1^{m} de hauteur de voûte sous clé, et sont à deux portes.

Fig. 1, élévation d'un four par-devant.

Fig. 3, plan d'un four à hauteur des portes avant la construction de la sole.

Fig. 4. Plan à la même hauteur, la sole étant faite.

Fig. 2. Coupe suivant la ligne 1, 2 du plan, *fig.* 4.

Fig. 5. Coupe suivant la ligne 3, 4 du même plan.

B, B, *fig*. 1, 2, 3 et 4, base dans laquelle on a réservé à l'emplacement de chaque four un vide *a*, *a*, *a*, *fig*. 3, de même forme que la sole, et faisant sur les parois intérieures de l'appareil une saillie *b*, *b*, *fig*. 2, 3 et 5, de 10 à 11 centimètres de largeur.

c, *c*, *c*, *fig*. 1, 2, 3 et 4, petits canaux d'évaporation ménagés dans la base à environ 0^m40 du sol, et ayant 6 centimètres de largeur sur 10 de hauteur.

C, C, grand canal de section à peu près double, pratiqué entre deux fours contigus, et communiquant avec les petits canaux qui le croisent.

D, D, *fig*. 2 et 5, remblai du vide laissé dans la base, en terres fortement damées et élevées jusqu'à 4 ou 5 centimètres au-dessous des canaux.

A, A, *fig*. 2 à 5, maçonnerie en briques formant les parois et la voûte du four, et commençant à environ 0^m54 au-dessus du sol. Les briques doivent être assez réfractaires et principalement celles qui forment la voûte aux environs de la cheminée; elles sont maçonnées avec de l'argile formant un mortier très clair. L'épaisseur des parois et de la voûte est de 0^m21 à 0^m22.

H, H, *fig*. 2 et 5, cheminée placée au centre du four; elle a 0^m40 de diamètre, 0^m45 de hauteur, et elle est construite en briques réfractaires mises debout.

Tout le reste de la construction est en maçonnerie ordinaire, et le dessus du massif, auquel on donne une légère pente pour l'écoulement des eaux, est recouvert d'un glacis en mortier saupoudré de sable fin et bien battu.

E, F, G, *fig*. 1 et 5, petit fronton construit au-dessus des portes, pour renvoyer les eaux à droite et à gauche.

P, P, *fig*. 1 à 4, portes de chargement dont le seuil est à 0^m65 au-dessus du sol.

d, *e*, *f*, *g*, *fig*. 1, 3 et 5, seuils en fonte de 27 millimètres d'épaisseur et pris dans la maçonnerie.

h, *h*, cadres de porte, en fonte, de même épaisseur que les seuils, encastrés dans la maçonnerie, et présentant une ouverture de 0^m65 de largeur sur 0^m52 à 0^m55 de hauteur.

I, I, *fig*. 3, 4 et 5, dalles en pierres ou mieux en fonte, placées au niveau du sol, sous chaque porte, pour recevoir la houille lors du chargement des fours.

s, *s*, *fig*. 2 et 5, sole formée d'une couche de terre grasse de 12 à 13 centimètres d'épaisseur et bien battue. On lui donne un peu plus d'épaisseur vers le centre du four, en la bombant un peu, parce que cette partie se dégrade plus promptement que les autres.

t, *t*, couche de pierraille établie sous la sole pour laisser échapper par les canaux les vapeurs qui se forment lors du séchage. Sans cette précaution, ces vapeurs pourraient soulever la sole et la faire crevasser en tous sens.

P', *fig*. 5 et *fig*. 6, 7, 8, sur échelle double, porte de fonte à rebords formant un encaissement dont l'intérieur est garni de broches coulées. Ces broches sont destinées à retenir la terre grasse dont on garnit la porte pour la préserver d'une trop forte action de la chaleur. Dans la fonte ainsi que dans la terre, on réserve un trou *o*, *fig*. 5 et 6, par lequel l'ouvrier surveille la marche du four, et qu'il ferme avec un bouchon d'argile.

Fig. 9 à 14. *Fours circulaires de Rive-*

de-Gier et de l'usine du Janon, près Saint-Étienne (Loire); échelle de $\frac{1}{50}$.

Ces fours ont intérieurement 2^m de diamètre et 0^{m}80 de hauteur sous clé. Ils n'ont qu'une seule porte de mêmes dimensions à peu près que celles des fours elliptiques, et leur cheminée n'a que 0^{m}30 de diamètre.

Les *fig.* 9 à 13 représentent les fours établis à Rive-de-Gier en terrain horizontal, et la *fig.* 14 est la coupe des fours du Janon, qui sont adossés à un petit tertre. La construction de ces derniers ne diffère de celle des autres fours, qu'en ce qu'ils forment un seul massif sans séparation, et qu'on a pratiqué le long des terres un canal longitudinal C, communiquant avec les canaux d'évaporation et destiné de plus à préserver les fours de toute humidité.

Tous les détails donnés sur la construction des fours elliptiques, s'appliquent à ceux-ci; seulement leur sole, au lieu d'être en terre battue, est faite en briques de champ posées également sur un lit de pierraille.

Fig. 15 et 16, élévation intérieure et coupe d'une porte à rebords, en fonte. Il n'y a pas de broches en dedans, et la garniture, au lieu d'être en terre, est en briques réfractaires.

Fig. 17 et 18. Portes en bandes de fer. Leur cadre ou pourtour est en fer plat de 12 à 13 millimètres d'épaisseur sur 5 centimètres de largeur, et l'on fixe intérieurement d'autres bandes de fer de 6 à 7 millimètres d'épaisseur formant un quadrillage. On remplit ensuite tous les vides avec de l'argile humectée et fortement battue.

On substitue avec avantage ces portes à celles en fonte, qui sont plus lourdes et sujettes à éclater.

Fig. 19 et 20. Grand fourgon pour défourner le coke. Il faut en outre une large pelle pour charger les fours, des ringards à biseau plat pour soulever le coke et le briser dans le four, et enfin une espèce de bêche ou de hache à main pour dessoler le coke, c'est-à-dire enlever la partie en contact avec la sole du four et qui est toujours imparfaitement carbonisée.

Il doit y avoir dans un atelier de carbonisation un ou plusieurs puits munis de pompes, des seaux et des arrosoirs tant pour le mouillage de la houille que pour l'extinction du coke.

PLANCHE 8.

Ensemble des hauts-fourneaux et machines soufflantes de l'usine de Lavoulte (Ardèche), construite par MM. Culmann et Walter (1); *échelle de $\frac{1}{100}$.*

L'usine de Lavoulte, l'une de celles qui produisent aujourd'hui la fonte de fer avec le plus d'avantages et de la meilleure qualité, renferme quatre hauts-fourneaux accolés et placés sur une même ligne; mais l'espace ne permettant pas de les réunir dans une même planche, on a supprimé les fourneaux

(1) Les hauts-fourneaux de Lavoulte ont été commencés par M. Culmann, traducteur du Manuel de Karsten; mais bientôt appelé à d'autres fonctions, il dut abandonner la direction des travaux de l'usine naissante, qui fut terminée, organisée dans tous ses détails, et mise en roulement par M. Walter.

intermédiaires, dont la représentation est d'ailleurs inutile à l'intelligence de la disposition.

Ces fourneaux travaillent au coke, et sont alimentés d'air par deux machines soufflantes à cylindres en fonte, mises en activité, chacune par une machine à vapeur de la force de soixante chevaux.

Chaque machine soufflante peut fournir jusqu'à six mille pieds cubes d'air par minute, soit trois mille pieds par fourneau. (*Voy*. les descriptions de machines soufflantes et le texte y relatif.)

La *fig*. 1 représente une coupe du bâtiment des machines soufflantes et une élévation latérale de l'une d'elles, la *fig*. 2 une coupe, et la *fig*. 3 une élévation de haut-fourneau.

V, machine à vapeur, à trois cylindres, à moyenne pression et à condensation, communiquant le mouvement au piston de la machine soufflante S au moyen d'un balancier, portant à chaque extrémité un parallélogramme de Watt, pour maintenir les tiges des pistons dans la direction verticale.

S, machine soufflante à cylindre en fonte, dans lequel se meut un piston qui aspire l'air extérieur et le refoule ensuite dans le tuyau latéral AB. Des soupapes convenablement disposées empêchent cet air de pouvoir rentrer dans le cylindre.

BC, tuyau en fonte, pour conduire l'air jusqu'au régulateur.

R, régulateur à eau, à caisse en tôle, dans lequel l'air reçoit une certaine compression mesurée par la différence de niveau des nappes d'eau, à l'intérieur et à l'extérieur de la caisse.

D, E, F, conduits en tuyaux de fonte, partant de l'intérieur du régulateur, et s'étendant sous les fourneaux, par les passages voûtés qui règnent dans toute la longueur de leur fondation, et perpendiculairement à cette longueur, sous le milieu de chaque fourneau. La conduite principale EF, ainsi que ses embranchemens, portent des tubulures I, I, I, auxquelles sont adaptés des tuyaux IK, IK, d'un moindre diamètre, et s'élevant jusqu'au niveau du sol en traversant les voûtes.

P, P, tuyaux dits *porte-vents*, s'adaptant aux brides K des précédens. Ils portent à leur partie supérieure une tête ou renflement cylindrique, à l'intérieur duquel est un robinet creux (*Voir* les détails de Porte-Vents), servant à ouvrir ou fermer issue à l'air comprimé contenu dans le régulateur et dans tous les tuyaux de conduite. Ce robinet est manœuvré au moyen d'un petit levier adapté à une tige cylindrique, et sert, selon le plus ou moins d'ouverture qu'on lui donne, à régler convenablement la dépense d'air.

L, L, tuyaux en cuir fort, dits *culottes*, fixés par une extrémité à la tubulure des porte-vents, et portant à l'autre de petits tuyaux coniques en tôle, que l'on nomme *buses*. Ces buses s'engagent dans les tuyères *tt*, par l'orifice desquelles l'air lancé par les machines soufflantes est introduit dans le fourneau.

Fig. 2, *ab*, *ab*, *creuset*, ou capacité dans laquelle se rassemblent la fonte liquide et les matières terreuses en fusion, ou *laitiers*.

o, *o*, *o*, trous ou logemens de tuyères, dont deux latéraux et un postérieur, appuyés sur le plan supérieur *b*, *b*, du creuset.

bc, *bc*, ouvrage.

cd, *cd*, étalages.

def, *def*, cuve dont la partie cylindrique *de*, *de*, forme le ventre.

Ces trois dernières parties sont constamment remplies de combustibles, mi-

nerais et fondans, que l'on y introduit par couches successives, à mesure que la fusion s'opère à la partie inférieure.

f, f, orifice supérieur de la cuve ou *gueulard,* par lequel on charge le fourneau.

fh, fh, cheminée dans les parois de laquelle sont ménagées deux portes de chargement *ik*, diamétralement opposées. Entre les montans ou joues en fonte de chacune de ces portes, est placée une grille *g*, également en fonte, inclinée vers l'intérieur du fourneau, et faisant office de crible pour séparer les poussiers de minerais et charbons.

Toutes les parties du fourneau décrites ci-dessus sont construites en briques réfractaires.

T, T, embrasures des tuyères latérales voûtées en briques ordinaires.

m, m, pièces en fonte, dites *marâtres*, destinées à supporter une partie de la construction de la cuve.

Q, Q, massif extérieur ou double paroi du fourneau, construit en maçonnerie ordinaire, et surmonté d'un parapet en briques J, J.

l, l, espace réservé entre ce massif et le pourtour extérieur de la cuve, et qui est rempli en matériaux réfractaires concassés.

z, z, petits canaux d'asséchement réservés dans le massif.

n, n, fig. 3, montans en fonte du creuset.

p, p, plaque en fonte fermant le devant du creuset.

u, plan incliné sur lequel coulent les laitiers.

v, plaques en fonte appliquées contre l'angle de l'embrasure, pour préserver les pierres de l'action du feu lors du nettoyage du creuset.

b', bâche en fonte, contenant de l'eau pour refroidir les outils.

xy, large plaque cintrée, en tôle, placée au-dessus de l'embrasure de devant pour empêcher les étincelles de s'élever jusqu'à la charpente du toit.

N, passage voûté pratiqué entre deux fourneaux, et relevé en O vis-à-vis les embrasures de tuyères, de manière à se raccorder avec les sommets des voûtes de ces embrasures.

M, M, *fig.* 1, 2 et 3, mur de soutènement, régnant derrière le bâtiment des machines et les fourneaux, et dans lequel on a réservé une ouverture pour le passage du plan incliné XX, par lequel on monte le combustible. Ce mur s'élève jusqu'à la plate-forme qui est à hauteur des gueulards, et il est couronné par un parapet.

H, H, hangard de chargement, construit sur cette plate-forme en arrière des fourneaux.

Y, Y, magasin à coke, placé en arrière du hangard de chargement.

G, G, fours de grillage, construits à côté du plan incliné et en arrière du hangard de chargement. Ces fours, dont les détails sont indiqués par la Pl. 3, reçoivent le minerai par une plate-forme au niveau de leur plan supérieur.

PLANCHE 9.

Formes et dispositions intérieures de hauts-fourneaux; échelle de $\frac{14}{1000}$.

Fourneaux à coke. — Fig. 1 à 6. Dispositions du haut-fourneau de Vienne (Isère), par M. Walter.

Fig. 1. Coupe verticale passant par les *tuyères,* ou suivant la ligne *rs* du plan, *fig.* 2.

Fig. 2. Coupe horizontale passant par le plan supérieur *b, b,* du *creuset, fig.* 1, et montrant cette partie à découvert.

Fig. 3 et 4. Forme du *gueulard,* ou orifice supérieur *f, f,* du fourneau.

Fig. 5. Coupe passant par la ligne *u, v, fig.* 2.

Fig. 6. Coupe horizontale passant par les tuyères, ou au-dessus de la ligne *bg, fig.* 5.

a, a, fig. 1, 2, 5 et 6, *fond* ou *sole* du *creuset.*

ab, ab, fig. 1 et 5, *creuset,* ou partie dans laquelle se rassemblent les matières en fusion.

bc, bc, ouvrage. Il est de forme rectangulaire à sa base, comme on le voit *fig.* 6, et de forme octogone, ou à huit côtés, à sa partie supérieure, projetée en ponctué *c, c, c, fig.* 2.

cd, cd, étalages en forme de cône tronqué renversé. La section supérieure *dd,* projetée en *ddd, fig.* 2 et 6, forme le *ventre* du fourneau.

df, df, cuve en forme de cône tronqué droit, dont l'orifice supérieur, ou le *gueulard,* est projeté en *ff, fig.* 3 et 4.

t, t, fig. 1, 2 et 6, ouvertures de *tuyères.* Il y en a deux opposées, s'appuyant à droite et à gauche sur la ligne qui partage la longueur *b, b, fig.* 6, de la base de l'ouvrage en deux parties égales. Elles sont pratiquées au-dessus du plan supérieur *b, b,* du creuset, *fig.* 1 et 5.

i, fig. 5 et 6, *dame,* ou pierre fermant le creuset à sa partie antérieure, pour y retenir les matières en fusion.

b, g, fig. 5 et 6, *tympe,* ou pont recouvrant une partie du creuset, et laissant une communication de l'intérieur à l'extérieur. Sous ce nom est compris le massif incliné construit au-dessus de *gb, fig.* 6. La partie du creuset extérieure à la tympe se nomme *avant-creuset.*

On nomme *costières* les longs côtés du creuset représentés en *ab, ab, fig.* 1. Lorsqu'il n'y a qu'une tuyère, le coté sur lequel elle repose se nomme *costière de tuyère,* et le côté opposé *costière de contrevent.* Le côté postérieur du creuset *ab, fig.* 5, se nomme *rustine.*

xy, fig. 1 et 5, axe du fourneau, passant par le point d'intersection des lignes *rs, uv, fig.* 6, qui partagent en deux parties égales la longueur et la largeur de la base *bb* de l'ouvrage.

Observation. Dans toutes les figures suivantes, qui sont des coupes ou des plans analogues aux *fig.* 1 et 6, les mêmes lettres sont employées pour désigner les diverses parties dont on vient de donner la nomenclature. On se bornera donc à indiquer la situation des fourneaux, en y joignant les observations nécessaires.

Fig. 7 et 8. Fourneau de Horsley (Angleterre, Staffordshire). L'ouvrage est à section carrée; toutes les parties supérieures, à sections circulaires. Le raccordement de la cuve avec les étalages est fait par arc de cercle, afin de faciliter le glissement des matières.

Ce fourneau, de grandes dimensions, a deux tuyères de costières directement opposées, et une troisième tuyère posée sur le milieu de la rustine.

Fig. 9 et 10. Fourneau de Pentwyn (Angleterre). Il a trois tuyères disposées comme dans le fourneau précédent. Les costières du creuset, ainsi que la rustine, suivent l'inclinaison des parois de l'ouvrage. Ce dernier est à section rectangulaire, et toutes les sections supérieures sont circulaires.

Le profil de la cuve, au lieu d'être droit, est formé par une courbe concave

vers l'intérieur, ce qui permet de donner plus de capacité à la cuve sans agrandir le gueulard.

Fourneaux au charbon de bois, *fig*. 11, 12 et 13. — Fourneau du Harz. L'ouvrage est à section rectangulaire à la base, et carrée à la partie supérieure, qui forme la base des étalages. Ceux-ci sont de forme octogone au ventre, projeté en *ddd*, *fig*. 12. Le gueulard du fourneau est carré et projeté en *f*, *fig*. 13.

Ce fourneau n'a qu'une seule tuyère placée sur l'une des costières.

Fig. 14 et 15. Fourneau d'Obereichstadt (Bavière). Il est aussi à une seule tuyère, et les sections de l'ouvrage sont disposées comme dans le précédent fourneau; mais les sections des parties supérieures sont toutes circulaires.

Fig. 16, 17 et 18. Fourneau de Château-Villain (Haute-Marne). Dans ce fourneau, l'ouvrage et les étalages se confondent. Leur base inférieure est un rectangle allongé, recevant une seule tuyère. Le ventre est composé de quatre côtés circulaires, ayant des courbures différentes. Enfin le gueulard *f*, *fig*. 18, est rectangulaire. Cette construction irrégulière, plus ou moins variée dans ses dispositions, est suivie dans la majeure partie des usines françaises.

Dans tous les fourneaux au bois à une seule tuyère, la ligne x, y, qui est l'axe de l'ouvrage et de la cuve, ne passe pas par le centre de l'ouvrage et du creuset, mais se rapproche davantage de la costière de contrevent.

Les côtes indiquent les dimensions des diverses parties des hauts-fourneaux dont on donne ici les dispositions. On trouvera dans les Planches suivantes, ainsi que dans la Pl. 8, les formes et dispositions de hauts-fourneaux qu'on n'a pu réunir dans celle-ci.

Pour l'examen des dispositions et dimensions, voir le texte, section II.

PLANCHE 10.

Dispositions de hauts-fourneaux, et modes de distribution du vent; échelle de $\frac{7}{1000}$.

Dispositions intérieures (suite). — *Fig*. 1 et 2. *Fourneau de Hayange* (Moselle), 1828. Ce fourneau a été disposé pour marcher, soit au charbon de bois, soit au coke. Il a deux tuyères, et la rustine du creuset *aa* est demi-cylindrique. Toutes les parties supérieures du fourneau sont à section circulaire. Le ventre est formé par un cylindre *de*, *de*, qui adoucit le passage de la cuve aux étalages.

Fig. 5. *Fourneaux de Lavoulte* (Ardèche). Ils marchent au coke, et ont trois tuyères. Le creuset est rectangulaire. L'ouvrage, à peu près carré à sa base *bb*, est en forme d'octogone régulier à sa partie supérieure $cc'c'c$, pour faciliter son raccordement avec la base des étalages. Toutes les sections faites au-dessus de l'ouvrage sont circulaires, et le ventre est cylindrique.

Fig. 7 et 8. *Fourneaux de Decazeville* (Aveyron). Mêmes dispositions intérieures qu'à Lavoulte, à cela près que l'ouvrage est à section carrée. Ces fourneaux marchent au coke.

Dispositions de construction. — Les *fig*. 1, 3, 5 et 7, sont des coupes verti-

cales passant par les tuyères; *fig.* 1 et 2, fourneau de Hayange; *fig.* 3 et 4, fourneau de Vienne (Isère); indiquent les dispositions applicables à des fourneaux isolés.

A, A, *massif de fondation* sur toute l'étendue de la base des fourneaux.

CC, CC, *caves* recouvertes de voûtes solides BB, et disposées, soit en croix, *fig.* 1 et 2, soit parallèlement et se communiquant, *fig.* 3 et 4, de manière qu'il existe toujours un vide sous le creuset.

Fig. 1 et 2, D, D, passage voûté réservé dans la partie postérieure de la base du fourneau, et communiquant de l'une à l'autre embrasure de tuyère T. Dans ce passage est placée, sur des supports, la conduite de vent GG, à laquelle s'adaptent des *culottes* ou tuyaux en cuir LL, garnis de buses en tôle qui portent le vent dans le fourneau.

Le diamètre intérieur des tuyaux G, est à l'usine de Hayange, de 0^m244, soit 9 pouces.

A Vienne, *fig.* 3 et 4, la conduite de vent GG, arrivant du *régulateur* ou réservoir d'air, contourne la base du fourneau par-dessous terre, et vient aboutir à deux boites cylindriques P, P, que l'on nomme *boîtes à vent* ou *porte-vents*. Dans ces boites sont des vannes qui donnent issue à l'air ou l'arrêtent à volonté, selon qu'on les lève ou les baisse. On y adapte également des culottes L, garnies de leur buse.

Le diamètre intérieur des conduits de vent est de 0^m27 (10 pouces).

Dans la première disposition, pour ôter le vent au fourneau, on est obligé d'arrêter la machine soufflante; dans la seconde, on peut intercepter le vent en laissant marcher la soufflerie, qui peut ainsi alimenter d'autres foyers.

T, *fig.* 2, embrasure de travail; T', T', *fig.* 1 et 2, embrasures des tuyères. Elles prennent toutes naissance au-dessus de la fondation, et sont recouvertes par des plans inclinés en maçonnerie, soutenus par de fortes pièces de fonte ou *mardtres m, m*.

R, R, *piliers* d'embrasure, que l'on nomme aussi *piliers de cœur*.

Q, Q, *muraillement extérieur*, ou *double muraillement* en maçonnerie ordinaire, reposant sur la fondation, s'élevant jusqu'au gueulard du fourneau, et ayant la forme d'une pyramide quadrangulaire tronquée.

J, J, *murs de bataille*, ou espèce de parapet couronnant le fourneau.

Toute la maçonnerie intérieure, formant les *parois* ou la *chemise* du fourneau, est faite en matériaux réfractaires.

h, h, parois de la cuve; *g, g*, contre-parois ou *fausses parois* en pierres ordinaires; *l, l*, espace réservé entre la fausse paroi et le double muraillement, et qui est rempli de matériaux concassés ou de sable.

Le fourneau de Vienne, *fig.* 3 et 4, a une base prismatique carrée MM, terminée par une petite corniche. Tout le muraillement Q, qui entoure la cuve, est de forme conique.

La paroi intérieure est tout en briques réfractaires, depuis la sole jusqu'à la cheminée inclusivement, et il n'y a pas de fausse paroi. Du reste, les dispositions sont analogues à celles qu'on vient de décrire.

I, I, mur ou joue du coursier de la roue hydraulique qui fait mouvoir la soufflerie. N, N, mur de support du balancier de l'un des soufflets en fonte.

m, m, axe de la roue hydraulique, sur lequel est montée une roue d'engrenage. *b*, bouton ajusté sur l'un des bras de cette roue servant de manivelle; ce

bouton reçoit la bielle adaptée au balancier.

n, n, axe d'une seconde roue d'engrenage, mue par la précédente, et transmettant le mouvement aux chars qui élèvent les matières au gueulard. Ces deux roues d'engrenage sont représentées en lignes ponctuées.

Les *fig.* 5 à 8 indiquent les dispositions employées lorsqu'on érige plusieurs fourneaux dans un même lieu.

Fig. 5. Coupe verticale des hauts-fourneaux de Lavoulte, accolés seulement par la base.

Fig. 6. Coupe des fondations suivant la ligne 1, 2, *fig.* 5.

C, C, cave régnant sous toute la ligne des fourneaux, et ayant des embranchemens qui s'étendent sous le creuset et sous l'embrasure de la tuyère de derrière.

B, B, voûte de la cave, dans laquelle sont réservées des ouvertures *m, m,* fermées par des plaques de fonte.

EF, conduite principale du vent, en tuyaux de fonte de 0^{m}50 (18 pouces) de diamètre intérieur.

F', F', embranchemens de 0^{m}42 de diamètre, portant le vent aux tuyères de derrière.

P, P, porte-vents à robinets. Ils ont, ainsi que les tuyaux de jonction avec la conduite, 0^{m}18 de diamètre.

L, L, culottes en cuir auxquelles sont adaptées les buses.

N, N, passage entre les fourneaux. O, voûte relevée vis-à-vis les embrasures de tuyères. S, tuyau placé dans cette voûte, pour évacuer la fumée, la vapeur d'eau, la chaleur, etc., lorsqu'on travaille aux tuyères.

Les fourneaux sont de forme pyramidale, à base carrée, et n'ont qu'une simple chemise *h, h*, séparée du muraillement extérieur par un corroi *l, l,* en briques réfractaires concassées.

Tout l'intérieur du fourneau est en briques réfractaires. La maçonnerie extérieure est en schiste micacé, sauf les angles et les arêtes d'embrasure, qui sont en pierre calcaire dure.

Les voûtes d'embrasure sont en briques ordinaires.

Fig. 7 et 8. Fourneaux de Decazeville, au nombre de six, accolés par la base, communiquant entre eux par leurs sommets.

Il n'y a qu'une voûte longitudinale C, C, passant sous les creusets. Dans les piliers d'embrasure R, R, sont pratiqués des passages circulaires voûtés, pour établir une communication facile et plus courte entre les embrasures.

E, F, conduite principale de vent, en tuyaux de tôle de 1^{m}30 de diamètre pour les trois premiers fourneaux, et de 1^m pour les trois plus éloignés de la machine soufflante. Sur cette conduite sont établies des distributions de vent indépendantes pour chaque fourneau.

H, H, boîtes à vanne sur tuyau de 0^{m}65 de diamètre, pour établir ou supprimer la communication entre la conduite principale et les tuyaux de distribution G, G. Ces derniers, qui sont également en tôle, ont 0^{m}35 de diamètre, et aboutissent à des porte-vents à vanne P, P. Les vannes sont garnies d'une crémaillère, et manœuvrées du dehors au moyen d'une manivelle dont l'arbre porte un pignon.

O, voûte relevée entre les embrasures de tuyère, et communiquant avec une petite voûte d'évacuation S.

U, U, arceau joignant les plates-formes des fourneaux, en sorte qu'il y a communication entre toutes, et que le mur de bataille J, J, règne sur tout leur

pourtour, sauf vis-à-vis les points d'arrivée.

Ces fourneaux ont une chemise *h*, *h*, en briques réfractaires, et une contre-paroi *g*, *g*, en briques ordinaires ou demi-réfractaires. Un corroi *l*, *l*, sépare cette contre-paroi de la chemise.

Les dimensions intérieures du haut-fourneau de Hayange, *fig.* 1 et 2, sont :

	pieds.	pouces.
Largeur du creuset	1	8
Longueur du creuset	5	6
Hauteur du creuset	1	8
Hauteur de l'axe des tuyères au fond de la rustine	»	10
Largeur de l'ouvrage en bas	1	8
Largeur de l'ouvrage en haut	2	5
Hauteur de l'ouvrage	3	8
Hauteur des étalages	7	»
Diamètre au ventre	10	6
Hauteur du ventre cylindrique	3	»
Hauteur de la cuve	24	»
Diamètre du gueulard	4	»

Les dimensions des autres fourneaux sont cotées ou indiquées sur d'autres Planches. (Voir Pl. 9 et 14.)

PLANCHE 11.

Haut-fourneau au charbon de bois, de Bologne (Haute-Marne); échelle de $\frac{1}{100}$.

La disposition générale de ce fourneau est celle que l'on trouve le plus ordinairement dans les usines françaises, et présente un exemple de construction sans armatures, c'est-à-dire sans liens en fer pour consolider les maçonneries extérieures, et s'opposer aux effets de la dilatation. Tous les fourneaux de ce genre sont recouverts d'une toiture qui abrite à la fois les ouvriers chargeurs et les matières que l'on dépose autour de la *bugne* ou gueulard.

Fig. 1. Coupe verticale du fourneau passant par la tuyère ou suivant la ligne 5, 6, du plan, *fig.* 2, et montrant l'intérieur de la halle à charbon.

Fig. 2. Coupe horizontale passant par la ligne 1, 2, 3, 4, de la figure précédente, et montrant à découvert le plan supérieur du fourneau et la bugne.

Fig. 3. Coupe verticale suivant la longueur du creuset, ou suivant la ligne 7, 8, *fig.* 4.

Fig, 4. Coupe horizontale par la tuyère, ou suivant la ligne 9, 10, de la précédente figure.

Fig. 5. Élévation du fourneau par-devant, ou du côté de l'embrasure de travail.

A, A, *fig.* 1 et 2, dépôt de minerai, ou parc à mine. Un ouvrier jette le minerai à la pelle, de cet endroit, sur un premier plancher BB, ponctué *fig.* 1: puis de celui-ci sur un second plancher CC. Le chargeur l'élève de ce second plancher sur le troisième DD, où il vient ensuite remplir les conges ou caisses qui servent à mesurer le minerai avant de le jeter dans le fourneau.

Sous le plancher CC, qui s'étend jusqu'en I, *fig.* 2, sont les logemens des fondeurs.

E, E, halle à charbon, communiquant par un escalier *u* avec le plancher CC.

I, *fig.* 1, emplacement sur lequel le charbonnier apporte les rasses ou paniers à charbon, après les avoir remplies.

Le chargeur vient les y prendre, les monte à la bugne par l'escalier *vv*, et y rapporte les rasses vides.

nn, escalier communiquant du sol du fourneau aux logemens des fondeurs.

q, *r*, escaliers communiquant de ces logemens au plancher CI.

T, *fig*. 3 à 5, embrasure de travail; T', *fig*. 1, 3 et 4, embrasures de côté, par l'une desquelles le vent est conduit jusqu'à la tuyère. Le dessus de ces embrasures, en forme de plan incliné, est soutenu par de fortes pièces de fonte ou *marâtres mm*, sur lesquelles s'élèvent les massifs supérieurs.

Tout le massif extérieur, ou double muraillement, est traversé, du dedans au dehors, par de petits canaux d'assèchement *cc*. A partir du plan supérieur F, F, il est couronné par les *batailles* JJ, sur lesquelles repose la toiture.

GG, *fig*. 1, 2, 3, *bugne* ou *burre*. Petite masse supérieure, ou muret, entourant le gueulard. Aux quatre angles sont élevés des piliers *p* en pierre, ou mieux en fonte; sur ces piliers sont placées des plaques de fonte, qui forment un cadre sur lequel est construite la hotte ou cheminée H.

a d f, *fig*. 1 et 3, capacité intérieure du fourneau. La sole du creuset est formée d'une seule pierre de grès, de $0^{m}14$ d'épaisseur. Les parois du creuset et de la moitié de l'ouvrage sont montées en briques réfractaires de $0^{m}35$ de longueur, sur $0^{m}04$ d'épaisseur. Le reste de l'ouvrage, qui s'élève jusqu'au ventre, et la cuve, sont construits en pierre calcaire du pays.

gg, tuyau amenant le vent de la machine soufflante; *e*, *e*, *fig*. 1 et 4, tuyaux de distribution du vent; *b*, *b*, buses conduisant le vent dans la tuyère. Le diamètre de ces buses à leur extrémité est de 27 millimètres.

Détails sur échelle double. — *Fig*. 6. Coupe verticale suivant la ligne 13, 14, *fig*. 7.

Fig. 7. Coupe par la tuyère suivant la ligne 11, 12, *fig*. précédente.

Fig. 8. Coupe verticale par la tuyère, ou suivant la ligne 15, 16, *fig*. 7.

Fig. 9. Élévation de la poitrine P du fourneau, *fig*. 5.

aa, *creuset*; *b*, *tympe* formée d'une grande pierre de $0^{m}27$ d'épaisseur, sur $1^{m}30$ de largeur, et 1^{m} de hauteur; *c c*, *pièce* ou *fer* de tympe, en fer forgé ou en fonte, pour préserver le bec extérieur de la tympe de toute dégradation; *e e*, *taqueret*, plaque en fonte de 8 cent. d'épaisseur, 1^{m} de largeur, et $0^{m}80$ de hauteur, pour garnir le devant de la tympe.

tt, tuyère; *i*, *dame*, dont l'arête supérieure affleure le devant du creuset, et se trouve placée à $0^{m}11$ au-dessous du plan de la tuyère. La dame laisse, entre elle et la costière de contre-vent, un espace d'environ $0^{m}08$ de largeur, que l'on ferme avec de la terre bien battue, et dans laquelle on pratique le trou de coulée *o*.

f, *fig*. 7 et 9, *frayeur*, plaque de fonte dont on garnit le devant du creuset en avant du trou de coulée, pour diriger le ringard à percer, et empêcher qu'il ne dégrade la costière. Les deux costières près de la dame sont aussi, dans le même but, garnies de plaques de fonte sur les angles.

k, *l*, plaques de fonte recouvrant le plan incliné sur lequel coulent les laitiers.

La coupe de ce fourneau, au ventre, est semblable à celle du fourneau, *fig*. 16 et 17, Pl. 9, sauf que les deux côtés correspondant à la tympe et la costière de contre-vent sont seuls cintrés.

PLANCHE 12.

Haut-fourneau au charbon de bois des forges de Banca, vallée de Baigorry (Basses-Pyrénées), par M. Sonolet; échelle de $\frac{1}{100}$.

Ce fourneau, construit dans le genre des fourneaux à coke, a deux tuyères, et ses sections intérieures sont circulaires, à l'exception de celles de l'ouvrage, qui sont rectangulaires.

Fig. 1. Plan du fourneau au-dessus du creuset.

Fig. 2. Coupe transversale passant par les tuyères.

Fig. 3. Coupe suivant la longueur du creuset.

Fig. 4. Plan passant par la base de la cuve suivant la ligne 1, 2, *fig.* 3.

Fig. 5. Élévation du fourneau du côté de l'embrasure du travail.

Fig. 6. Plan supérieur du fourneau.

Q, Q, *fig.* 1, 2, 3 et 5, double muraillement, ou massif extérieur du fourneau, dont les paremens extérieurs et intérieurs sont construits en fortes pierres de taille; L'entre-deux des paremens est maçonné en moellons.

E, embrasure de travail; E', E', embrasures de tuyères.

J, J, batailles reposant sur la corniche qui couronne le double muraillement, et dans une face desquelles est réservé un œil-de-bœuf, au-dessus de l'embrasure de travail.

gg, canaux d'asséchement réservés dans le double muraillement.

ss, tirans en fer placés dans la maçonnerie à mesure qu'elle s'élève. De longues ancres *uv* traversent les boucles de ces tirans, et sont serrées dans ces boucles au moyen de clavettes qui les font appliquer contre les paremens du fourneau. Ce système d'armature s'oppose ainsi à la rupture des maçonneries par la dilatation.

hh, *fig.* 1 et 4, cheminées réservées dans les angles du massif. Elles communiquent avec les canaux *g*, et servent ainsi à établir une circulation d'air qui accélère l'asséchement des maçonneries.

F, F, *fig.* 1, 3 et 6, plaque annulaire en fonte recouvrant le pourtour intérieur de la plate-forme du gueulard. Sur cette plaque sont boulonnés cinq piliers ou chandeliers en fonte P, P, qui supportent un cadre circulaire II, sur lequel est élevée la cheminée C.

B, B, *fig.* 3 et 4, plaques en fonte dites *cornettes*, servant à recouvrir les angles du vide intérieur réservé dans la base du double muraillement. Le milieu de chaque plaque est soutenu par une forte console en pierre A, et, par ce moyen, on passe de la forme carrée à la forme ronde, en même temps qu'on donne une assiette solide à la chemise de la cuve.

Le creuset *a*, jusqu'au sommet de l'ouvrage *cc*, ainsi que les étalages *cd*, *cd*, sont construits en grès très réfractaires, et les vides qui peuvent rester entre ces grès et la maçonnerie extérieure sont remplis en sable fortement battu. La cuve *mm* est construite en grès ordinaire, et entouré d'un corroi *ll* en grès concassé.

La partie supérieure de la cuve est entourée d'un muret qui s'élève jusqu'au gueulard, et qui est recouvert de plaques de fonte D, *fig.* 6, encastrées entre les chandeliers P.

GH, *fig.* 2, tuyau en fonte de 0^{m}38

de diamètre intérieur, conduisant le vent de la machine soufflante dans un récipient en fonte R.

L, L, tuyaux de distribution de $0^m 22$ de diamètre, portant le vent vis-à-vis chaque tuyère. A ces tuyaux sont adaptées des culottes en cuir *ee*, au bout desquelles sont fixées les buses, dont le diamètre à l'extrémité est de 48 millimètres.

Détails de creuset et d'ouvrage à l'échelle de $\frac{1}{10}$. — *Fig.* 7, plan pris au-dessus du creuset avant la pose des pierres de tuyères. *Fig.* 8, Élévation de la poitrine du fourneau. *Fig.* 9, coupe verticale suivant la longueur du creuset. *Fig.* 10, coupe horizontale passant par la ligne 3, 4 de la *fig.* 9.

aa', fond ou sole du creuset, d'une seule pierre de grès.

cc, costières, chacune d'une seule pierre de grès, et dans lesquelles sont faites des entailles pour recevoir la pierre inférieure de la tympe *k*, et son fer *ff*.

r, *fig.* 7 et 9, rustine également d'une seule pierre.

i, *i*, dame en grès, ayant une échancrure pour laisser couler les laitiers.

b, *b*, *fig.* 9 et 10, pierres de tuyères dans lesquelles sont pratiquées des ouvertures ayant la forme d'un demi-cône. L'intérieur de ces ouvertures est garni d'une tôle de 3 à 4 lignes d'épaisseur, pour que les ringards ne puissent les dégrader lorsqu'on nettoie les tuyères.

p, *fig.* 9, taqueret ou plaque de tympe.

n, *n*, *fig.* 8 et 9, marâtre unique de l'embrasure de travail, pour soutenir le haut muraillement dans le cas où l'on a besoin de réparer le bas de l'ouvrage.

Détails de pièces à l'échelle de $\frac{1}{40}$. — *Fig.* 11 et 12, pilier ou chandelier de support P de la cheminée vu de face et de côté; *b*, patin qui se boulonne sur la plaque F, F, *fig.* 2; *p'*, fourchette ou encastrement.

Fig. 13. Plan du cadre inférieur II de la cheminée. *Fig.* 14, coupe suivant la ligne 5, 6 du plan. Ce cadre en fonte est renforcé par deux nervures intérieures et extérieures, et porte cinq oreilles à collet *p*, *p*, qui viennent se reposer dans les encastremens des piliers. La construction en briques de la cheminée est élevée sur le côté uni du cadre.

Fig. 15 et 16. Plaque de recouvrement D du gueulard vue en plan et de côté; *z*, *z*, entailles pour laisser passer les piliers.

Fig. 17. Tirant d'armature en fer carré de 48^{mm} (21 lignes), vu de côté. *Fig.* 18, le même vu en plan. *Fig.* 19 et 20, coupes faites respectivement suivant les lignes 7, 8, 9 et 10. Chaque extrémité de tirant est terminée par une boucle oblique, dans laquelle s'engage l'ancre *uv*, serrée par une clavette *y*. Ces dernières pièces sont représentées en lignes ponctuées *fig.* 17.

PLANCHE 13.

Hauts-fourneaux à coke de l'usine d'Abersychan, pays de Galles (sud), par M. Philipp. Taylor; échelle de $\frac{1}{100}$.

L'usine d'Abersychan renferme six hauts-fourneaux accolés, composés d'un prisme quadrangulaire ou dé formant la base, et d'une tour conique enveloppant

la cuve dans toute sa hauteur. Derrière ces fourneaux, et à la distance de 3^{m}65, s'élève un mur de soutenement ayant la même hauteur qu'eux; son épaisseur, jusqu'à la hauteur de la base des fourneaux, est de 3^m. En ce point est une retraite d'environ 0^{m}50, à partir de laquelle le mur s'élève en talus, et n'a plus que 1^{m}50 d'épaisseur à la crête.

Au niveau du sommet du mur règne une vaste plate-forme sur laquelle, à 22^m en arrière de son alignement extérieur, sont placés les fours de grillage représentés par la Planche 4. En arrière des fours est l'atelier de carbonisation, et des chemins de fer traversant le massif des fours, et aboutissant aux fourneaux, servent à y conduire les matières premières.

Un escalier de 1^{m}50 de largeur, établi perpendiculairement au mur de soutenement, à 6^m du premier fourneau, établit la communication entre la plate-forme et le sol inférieur.

Le devant de la plate-forme est occupé par un hangard de chargement, dont la toiture, à une seule pente, est soutenue à l'extérieur par un mur élevé sur la crête du mur de soutenement, et à l'intérieur, par des colonnes en fonte. Les eaux s'écoulent du côté de la plate-forme. La largeur de ce hangard, qui sert à abriter les ouvriers et les matières, est de 9 mètres.

Les *fig.* 1 à 6 représentent un des hauts-fourneaux placés aux extrémités de la ligne formée par tous les fourneaux accouplés.

Fig. 1. Coupe verticale du haut-fourneau et du mur de soutenement, passant par le milieu du creuset.

Fig. 2. Coupe horizontale à hauteur des tuyères.

Fig. 3. Coupe verticale passant par les tuyères latérales, indiquant la moitié de l'un des passages réservés entre les fourneaux.

Fig. 4. Coupe passant par le second canal d'asséchement, suivant la ligne 1, 2, *fig.* 3.

Fig. 5. Élévation du fourneau du côté de l'embrasure de travail.

Fig. 6. Coupe faite au-dessus du gueulard, suivant la ligne 3, 4, *fig.* 5.

M, M, *fig.* 1 à 3, massif de fondation pour les hauts-fourneaux et le mur de soutenement; G, G, canaux d'asséchement à section circulaire, construits en briques et maçonnés avec soin. Ces canaux ont une pente vers le milieu des fondations, et les eaux se perdent dans un puisard.

A B C D, *fig.* 1 à 6, dé ou prisme quadrangulaire formant la base du fourneau; E, embrasure de devant ou de travail; E', E', embrasures de tuyères; leurs voûtes sont coniques, à l'exception de la partie antérieure x, rendue cylindrique, pour que les arêtes des pierres d'appareil soient moins sujettes à se briser.

S, S, cheminées d'asséchement réservées dans les piliers d'embrasures. Elles s'élèvent jusqu'à l'assise de couronnement de la base, et communiquent à l'extérieur par des conduits T, *fig.* 4 et 5.

R, R, *fig.* 2, 3 et 5, passage pratiqué entre deux fourneaux. Le dessus de ce passage est ouvert en N, N, *fig.* 3 et 4, dans toute la largeur des embrasures, pour éclairer et donner du dégagement à la fumée, ainsi qu'à l'air, lors du travail aux tuyères.

Les côtés de la base sont fortement reliés, à hauteur du ventre du fourneau, par des tirans en fer v, v, serrés au moyen d'écrous contre de fortes plaques

en fonte et à nervures *u*, *u*, placées sur le milieu de chaque côté.

Q, Q, chemise ou revêtement extérieur de la cuve, couronnée par une corniche. Dans le milieu de son épaisseur s'élèvent huit petites cheminées *h*, *h*, qui débouchent au sommet; ces cheminées sont traversées par des canaux d'assèchement circulaires *g*, *g*. Sous les plaques F, F, *fig.* 1, 3, 5 et 6, qui recouvrent le dessus du fourneau, est un canal circulaire *ii*, qui reçoit toutes les cheminées *h*, et dont la communication à l'extérieur est établie par d'autres canaux *k*, *k*.

L'armature de la chemise est formée par des cercles en fer *s*, *s*, de 12 à 13 centimètres de largeur, sur 16 à 17 millimètres d'épaisseur. Ces cercles sont en quatre parties assemblées à clavettes, et disposés de manière à recouvrir les joints de deux assises consécutives.

K, L, *fig.* 1, espèce de contre-fort s'élevant verticalement derrière le fourneau, entre lequel et le mur de soutenement sont construits un arceau P formant le pont de service, et un arceau P', *fig.* 1 et 4, servant à la fois à buter le pied du contre-fort et le mur. Dans le contre-fort sont réservés des passages pour les cercles *ss*.

F, F, *fig.* 1, 3, 5 et 6, plaques en fonte recouvrant le dessus du fourneau et l'arceau du pont. Sur le pourtour de ces plaques est posée une balustrade J, J, en fer, en remplacement des murs de bataille.

B', B', *fig.* 6, bandes du chemin de fer sur lequel on conduit les matières premières jusqu'au gueulard.

a, *a*, *fig.* 1, 2, 3 et 4, creuset construit en grès réfractaire, ainsi que l'avant-creuset *a'*. Le creuset est plus large que l'avant-creuset, et arrondi dans les angles, forme qui s'établit toujours par suite du travail, et de laquelle on s'est rapproché. La sole et les côtés de l'avant-creuset se prolongent en dehors par de petits murs latéraux *e*, *e*, en briques réfractaires, qui servent en même temps à garantir le bas des montans *nn*.

r, *fig.* 1, Dame comprise entre les murs *e*, *e*.

n, *n*, *fig.* 5, montans de creusets s'écartant par la partie inférieure, et portant des rosettes dans lesquelles s'engagent des boulons maintenus par des clavettes. Le bas des montans est engagé dans la maçonnerie; le haut est retenu par la marâtre *m*.

p, plaque de dame boulonnée avec les montans, et servant à retenir la dame en même temps qu'à consolider les petits murs de prolongement. Elle est percée à hauteur et vis-à-vis du trou de coulée.

Cette disposition d'avant-creuset et de la dame permet de puiser la fonte avec plus de facilité.

bc, *bc*, *fig.* 1 et 3, ouvrage à section rectangulaire, dont les parois sont en grès réfractaire.

cd, *cd*; *df*, *df*, étalages et cuve en briques réfractaires. Entre la cuve et la chemise est un corroi *ll*, en briques concassées et terre réfractaire battue.

H, cheminée conique dans laquelle sont réservées trois portes de chargement O, O. Le dessus des portes est recouvert par un fort cercle de fonte en trois parties. La cheminée est construite en briques réfractaires, et cerclée à sa partie supérieure.

Fig. 7. Plan d'une des plaques d'armature *u*, *u*; *fig.* 8, coupe de cette plaque par le milieu (échelle double).

Fig. 9 à 11. *Fourneau de construction légère, dans le genre de ceux de Pontypool (pays de Galles)*; *échelle*

de $\frac{1}{100}$. — Les plans de ce fourneau avaient été originairement disposés, par M. Walter, pour la construction de l'usine de Lavoulte (Ardèche); mais l'expérience n'ayant pas encore, à cette époque, suffisamment prononcé en leur faveur, on préféra suivre le système ordinaire.

La *fig.* 9 présente la moitié de l'élévation latérale; la *fig.* 10 une coupe suivant la longueur du creuset, et la *fig.* 11 le plan du fourneau pris à hauteur des tuyères.

ABCD, base prismatique en briques ordinaires, à l'exception de la corniche et des angles, qui sont élevés en pierre de taille jusqu'à hauteur des cintres d'embrasures.

La construction des embrasures de tuyères E', E' est disposée de manière à remplacer les marâtres par des voûtes en briques. Il y a une marâtre à l'embrasure de travail E, pour recevoir les montans de creuset *n*, *n*, comme dans les autres fourneaux.

L'armature de la partie supérieure aux embrasures se compose : 1°. de trois cercles en fer *h*, *h*, *h*, de 15 centimètres de largeur, sur 27 millimètres d'épaisseur, qui sont pris dans la maçonnerie, entourent les étalages, et sont destinés à s'opposer à l'action de la dilatation et de la pression des matières. Ces cercles peuvent être en plusieurs parties assemblées à clavettes; 2°. de fortes plaques en fonte et à nervures *u*, *u*, appliquées près des angles, et servant de rosettes à des tirans à boulons *v*, *v*, qui traversent le massif de part en part.

La cuve n'est pas entourée d'une chemise en maçonnerie ordinaire, et se compose seulement de deux enveloppes en briques réfractaires *m*, *n*, séparées par un corroi *l*, *l*.

L'armature de la cuve est formée de huit bandes de fer verticales *g*, *g*, encastrées de leur épaisseur dans les briques, et de cercles en quatre parties *s s*, placés à peu près de 50 en 50 centimètres, mais toujours de manière à couvrir des joints horizontaux.

La cheminée H, construite à l'ordinaire, s'élève sur l'enveloppe intérieure de la cuve, et une plaque annulaire F, F, recouvre toute la construction en saillie.

Le pont P est formé de madriers de chêne, soutenu par trois arceaux en fonte boulonnés entre eux, et scellés, d'une part, dans le fourneau; d'autre part, dans le mur de soutenement.

Ce pont, garni d'une balustrade en fer, aboutit à la porte de chargement O.

Toute la construction intérieure du fourneau est faite comme à l'ordinaire.

PLANCHE 14.

Hauts-fourneaux à coke de l'usine de Lavoulte (Ardèche), par M. Walter; échelle de $\frac{1}{100}$.

En décrivant les Planches 8 et 10, on a déjà fait connaître la disposition générale de ces fourneaux et la nomenclature de leurs principales parties, qui se retrouvent ici désignées par les mêmes lettres. On ne reviendra donc pas sur ces objets, le but que l'on se propose étant surtout de donner un exemple de construction extérieure et intérieure, et d'indiquer un mode de distribution d'eau pour les tuyères.

Fig. 1. Coupe verticale de la chemise

d'un fourneau et des batailles, telle qu'on les élève ordinairement avant de s'occuper des constructions intérieures.

Fig. 2. Coupe horizontale passant par la ligne 1, 2 de la *fig.* précédente.

Fig. 3. Coupe verticale passant par les tuyères latérales, le fourneau étant entièrement construit.

Fig. 4. Coupe horizontale faite au-dessus du creuset.

Fig. 5. Élévation d'un haut-fourneau par-derrière.

Fig. 6. Coupe horizontale faite au-dessus des marâtres supérieures *m*, *m*, et sur laquelle on a rapporté les projections des tuyaux de distribution d'eau M, N, O, S.

Fig. 7. Coupe verticale suivant la longueur du creuset.

Fig. 8. Coupe passant par les entrées H, H, des cheminées d'asséchement, *fig.* 1, et montrant à découvert les canaux établis sous le creuset.

Ces cheminées d'asséchement sont établies au-dessus de la première ou de la seconde assise des piliers d'embrasure, débouchent soit dans les embrasures de tuyères, soit dans les passages qui séparent les fourneaux, *fig.* 8, et s'élèvent dans les angles de la maçonnerie jusqu'au-dessous de la corniche, comme on le voit *fig.* 3.

z, *z*, *fig.* 1, 3 et 4, petits canaux d'asséchement. On en établit plusieurs rangs dans les piliers d'embrasure, se croisant ordinairement dans deux sens perpendiculaires l'un à l'autre, et communiquant toujours avec les cheminées H. Ces canaux se continuent dans la maçonnerie supérieure, qu'ils traversent de part en part.

m, *m*, *fig.* 6, marâtres en fonte placées à peu près à la naissance du cintre des embrasures, comme on le voit dans les coupes verticales. Ici, elles servent à la fois à supporter la cuve, et à résister à la pression exercée par les matières sur les étalages.

A, B, *fig.* 1 et 2, arbre que l'on plante au centre du fourneau lorsque les voûtes d'embrasures sont terminées. Il est maintenu verticalement par quatre pièces de bois *e e*, *g g*, posées sur les marâtres, et scellées en maçonnerie provisoire ou solidement calées.

La partie de l'arbre qui est au-dessus des pièces de bois est arrondie jusqu'au sommet, et on y adapte un gabari ou calibre tournant, disposé d'une manière analogue à celui qui a été décrit précédemment, Pl. 3.

Ce gabari porte deux profils : l'un, *n n'*, qui sert à construire l'intérieur de la chemise; l'autre, *k' l'*, qui doit servir ultérieurement à construire la cuve, et dont il représente exactement le profil.

C, C, *fig.* 1 et 2, *cornettes* ou plaques de fonte circulaires recouvrant les angles que forme le vide inférieur entre les piliers d'embrasures, et destinées à supporter la cuve dans ces angles. L'emploi des cornettes permet de démolir toutes les constructions établies entre les piliers d'embrasures, sans craindre que la cuve ne s'affaisse, et rend cette dernière tout-à-fait indépendante des étalages, comme on le voit dans les deux coupes *fig.* 3 et 7.

s, *s*, *fig.* 3, armatures composées de tirans en fer carré de 4 centimètres, placées, à mesure qu'on s'élève, dans des passages réservés à cet effet, et dont les bouts traversent de fortes rondelles en fonte *r r*, retenues par des clavettes, comme l'indique la Planche suivante. Ces armatures, placées alternativement dans deux sens perpendiculaires entre eux, retiennent fortement les angles et

consolident la construction, sans cependant la mettre à l'abri des gerçures ou fentes qu'occasionne inévitablement la dilatation. L'écartement des rondelles est de 1m30 de centre en centre, et leur diamètre est de 0m60.

XX, YY, ZZ, *fig.* 8, première construction faite au-dessus de la voûte qui passe sous le creuset, après avoir, au besoin, établi une espèce de carrelage horizontal en briques ordinaires. Elle consiste en petits massifs isolés, de 12 centimètres de hauteur environ, laissant entre eux des canaux de 10 à 12 centimètres de largeur, qui communiquent tous ensemble. Ces petits massifs sont recouverts d'une plaque de fonte *z'*, *z'*, *fig.* 7, sur laquelle est établie la sole du creuset, comme on le verra plus loin (*Détails*, Pl. 15).

Les *fig.* 5, 6 et 7, représentent la distribution d'eau pour les tuyères. L'eau arrive d'un réservoir dans une conduite de tuyaux horizontaux MN, de 2 pouces de diamètre, qui passe derrière tous les fourneaux, et porte des embranchemens O, O, qui se prolongent jusqu'aux embrasures de tuyères. Aux extrémités de ces embranchemens sont des robinets R, servant à régler la quantité d'eau qu'on doit laisser arriver dans de petites bâches *qq*, en bois ou en fonte, munies elles-mêmes de robinets de 6 lignes de diamètre intérieur. Un petit tuyau en cuivre *r'*, *fig.* 5, évasé en entonnoir du côté des robinets de bâche, et vissé de l'autre à la tuyère, sert à introduire l'eau fraîche dans la double enveloppe en tôle dont elle est composée, comme l'indiquent les *fig.* 27, 28, 29 et 30, Pl. 22, IIe Partie. Un autre tuyau semblable *s'*, également vissé à la tuyère, donne issue à l'eau échauffée par son passage entre les enveloppes.

Dans l'une des embrasures latérales (ordinairement celle de droite en regardant le devant du fourneau), l'eau chaude est reçue dans des tuyaux en fonte SS, qui la conduisent dans un tonneau ou dans une bâche U, pour le service du fourneau. Ce réservoir est enterré jusqu'à fleur du sol, et a un tuyau de trop-plein pour porter l'excédant de l'eau soit en dehors de la fonderie des fourneaux, soit dans les voûtes de dessous, comme cela a lieu ici. Dans les autres embrasures de tuyères, l'eau chaude est reçue dans des tuyaux droits VV, qui la rejettent dans les voûtes. Ces dernières ont une pente qui réunit les eaux de tous les fourneaux dans le milieu de la longueur des fondations, et de là elles s'écoulent dans le bassin dont il sera fait mention ci-après, Pl. 19.

La *fig.* 4 indique, en avant du creuset, le plan incliné *u*, sur lequel s'écoulent les laitiers. Une plaque *q'*, *fig.* 7, dite plaque de *gentilhomme*, s'appuyant contre la plaque de dame *p*, et se dirigeant vers le milieu de l'ouverture de l'embrasure de travail T, *fig.* 4, sert à contenir la terre et le fraisil dont on forme le plan incliné.

La *fig.* 6 fait voir la projection horizontale de l'ouvrage, dont la base *a* est à peu près carrée, et dont la partie supérieure est un octogone régulier, afin de se raccorder plus facilement avec la base des étalages, formée d'un cercle circonscrit à l'octogone. Après la construction, on prolonge la surface des étalages en abattant les saillies intérieures formées par les côtés de l'octogone.

Toute la construction intérieure est en briques réfractaires, moulées de manière qu'elles aient la forme exigée pour la place qu'elles occupent. Par ce moyen, on obtient une construction plus solide et plus économique.

PLANCHE 15.

Détails de construction des hauts-fourneaux de Lavoulte; échelle de $\frac{1}{100}$.

Fig. 1. Elévation de la poitrine ou devant du fourneau, la plaque de dame étant en place.

Fig. 2. Coupe verticale suivant la longueur du creuset, s'arrêtant au-dessus de l'ouvrage.

Fig. 3. Coupe verticale transversale du creuset et de l'ouvrage, passant par la ligne 3, 4, *fig.* 4.

Fig. 4. Plan indiquant la disposition des briques à partir du plan des tuyères.

Fig. 5. Élévation de l'un des angles de l'ouvrage.

A, A, *fig.* 2 et 3, maçonnerie de fondation dans laquelle on a réservé un espace rectangulaire pour la construction de la sole du creuset.

B, B, premier rang de briques ordinaires, pour former un plan bien horizontal.

C, C, canaux formés par les petits massifs X, Y, Z, représentés Pl. 14, *fig.* 8.

a, a, recouvrement en fonte de 30 à 35 millimètres d'épaisseur. Il peut être formé de plusieurs plaques; mais dans ce cas, celle du milieu doit être un peu plus large que le creuset, et à peu près de même longueur.

D, D, double rang de briques réfractaires, ayant 30 centimètres de largeur, 60 de longueur et 10 d'épaisseur.

E, E, sole formée avec les mêmes briques placées de champ.

F, F, paroi intérieure du creuset, construite avec les mêmes briques, et revêtue extérieurement d'une enveloppe G, G, maçonnée en petites briques demi-réfractaires ou en bonnes briques ordinaires.

H, H, *fig.* 2, 3 et 4, joues des ouvertures de tuyères, moulées suivant la forme que l'on veut donner à ces ouvertures. I, I, recouvremens de tuyères d'une seule pièce, et disposés de manière que le dessus soit horizontal, et corresponde à une assise des briques de l'ouvrage.

En montant le creuset, il faut avoir soin de réserver quatre canaux verticaux CC, *fig.* 4, communiquant avec ceux que recouvre la plaque de fonte *aa*, et débouchant dans les embrasures de tuyères.

N, N, *fig.* 2 et 3, parois de l'ouvrage au-dessus des tuyères. N', N', parois correspondant aux angles de la base. Elles ont la forme triangulaire indiquée par la *fig.* 5, afin d'arriver successivement à la figure octogonale de la base supérieure de l'ouvrage.

Les parois de l'ouvrage sont enveloppées de maçonnerie en petites briques, que l'on soutient par des plaques en fonte *k l*, au passage des embrasures.

K, K, *fig.* 1, 2 et 4, tympe en plate-bande, formée de cinq briques réfractaires taillées en voussoirs, et soutenant les briques N, L, L' et L", du devant du fourneau.

Chaque assise de l'ouvrage, telle, par exemple, que l'assise n° 7, *fig.* 3 et 4, se compose de briques de dimensions et de formes différentes.

Les briques formant les faces triangulaires de l'ouvrage sont rectangulaires, et varient de largeur de bas en haut, comme l'indique la *fig.* 5. Les briques juxta-posées sont des rectangles de largeur uniforme, mais dont un des angles

est plus ou moins échancré, selon le rang qu'elles occupent. Les *fig.* 12 et 13, représentant deux rangs successifs, n°s 6 et 7, d'une face triangulaire et d'une face adjacente, indiquent le mode de superposition des briques. Les espaces angulaires formés par l'assemblage des parties de chaque assise sont remplis par des briques en forme de triangle rectangle.

P, *fig.* 1 et 2, montant de creuset du côté du trou de coulée; P′, montant du côté opposé. Ils sont scellés par le pied dans la maçonnerie, et engagés du haut derrière la marâtre inférieure. La *fig.* 6 représente séparément le montant P vu de face, et la *fig.* 7 la même pièce vue de profil. Le montant P′ est tout droit dans les deux sens.

R, *fig.* 1, 2 et 8, plaque de dame. Elle porte une échancrure *o* pour le passage des laitiers, et une nervure *pq*, qui sert d'appui à la plaque de gentilhomme. *Fig.* 6, coupe suivant la ligne 7, 8, *fig.* 8.

Fig. 10 et 11. Disposition de plaque de dame qui permet de la retourner sens dessus dessous, lorsqu'elle est usée d'un côté.

Fig. 14. *Plaque de gentilhomme*, dont on voit une coupe *fig.* 15, suivant la ligne 9, 10. Les trous *a* et *a′* de cette plaque servent à la porter; les crans ou redans *c*, *c*, servent à nettoyer les ringards avec lesquels on travaille dans le creuset.

Lorsque le fourneau est plein de matières, et qu'il est nécessaire néanmoins de vider le creuset, on soutient ces matières en *faisant une grille*. A cet effet, on suspend aux crochets *nn*, *fig.* 1 et 2, un étrier en fer *mm*, on passe un ringard ou barre de fer appointée *t* au travers des tuyères latérales; et sur ces deux appuis, on place d'autres barres *rs*, enfoncées jusqu'à la rustine. Toutes les barres employées doivent avoir environ 4 centimètres d'écarrissage, afin de pouvoir résister à la pression et à l'action de la chaleur.

uvx, *fig.* 2, plaque de tympe en fonte, maintenue dans sa position au moyen de cales placées latéralement, et serrées fortement entre la fonte et la maçonnerie. Les *fig.* 16 et 17 représentent cette plaque vue de profil et du côté intérieur; la partie *vx* doit avoir 5 centimètres d'épaisseur, afin de résister quelque temps au travail.

Observation. On voit ici que, pour faire une grille, il faut enlever la plaque de tympe.

Four à réverbère pour sécher et échauffer les hauts-fourneaux. Fig. 18, coupe longitudinale du four et d'un creuset de haut-fourneau. *Fig.* 19, coupe horizontale du four passant audessus du pont de chauffe P.

Ce four, qui ne sert que pendant quelques jours, peut être construit très légèrement et très économiquement. Les parois A A et la voûte BB n'ont qu'une épaisseur égale à la longueur d'une brique; quelques plaques de fonte de forme quelconque Q, Q, ou même de simples bandes de fer, suffisent pour empêcher l'écartement des côtés.

C, cendrier; GG, grille de 75 à 80 centimètres en carré, portée par des traverses D, D; O′, gueulard par lequel on introduit le combustible; P, pont de chauffe ou autel, qui n'a d'autre but ici que de retenir le combustible sur la grille; S, S, sole ou carrelage en briques à plat, placées sur de la terre bien battue.

Afin de ne pas dégrader l'avant-creuset et la tympe, dans le cas d'un chauf-

fage trop vif, on garnit les côtés du creuset de briques H, H, et le dessous de la tympe d'un ou deux rangs de briques L, L, soutenues par un pilier II, partageant le passage en deux également.

Toutes les briques employées doivent pouvoir résister au feu.

Le haut-fourneau, dont a préalablement bouché les ouvertures de tuyères avec de la terre ou des briques, servant de cheminée au four à réverbère, peut non seulement être séché, mais encore être chauffé jusqu'au rouge dans sa partie inférieure.

PLANCHE 16.

Suite des détails de hauts-fourneaux; échelle de $\frac{1}{100}$.

Fig. 1. Coupe de la cuve servant à faire l'épure des briques qui composent les assises. La forme intérieure de la cuve étant tracée dans toute sa hauteur, et selon les dimensions qu'on veut lui donner, on fixe les épaisseurs au bas et au sommet, et l'épaisseur des briques. Ces dimensions sont ici, 40 centimètres au bas de la cuve, 25 au sommet, et 12 centimètres pour l'épaisseur des briques.

Les sections horizontales successives variant peu d'assise en assise, il n'est pas nécessaire de faire des briques particulières pour chaque rang; et pour l'épaisseur de briques indiquée précédemment, on peut aisément monter, avec les mêmes briques, quatre rangs, tels que de *a* 1 en *b* 2, de *b* 2 en *c* 3, et ainsi de suite. On trace alors, *fig.* 2, une suite de cercles concentriques correspondant aux points 1, 2, 3, 4, 5, etc., puis on partage la circonférence en autant de parties égales que l'on veut mettre de briques à chaque rang. Le nombre de ces parties est ici de 32, ce qui donne des briques de dimensions convenables pour le bas et pour le haut. Prenant alors les quantités 1*a*, 2*b*, 3*c*, 4*d*, etc., *fig.* 2, respectivement égales aux épaisseurs 1*a*, 2*b*, 3*c*, 4*d*, etc., *fig.* 1, et traçant les arcs de cercles *ab*, *bc*, *cd*, etc., les figures 12*ba*, 2*bc*3, 3*ed*4, etc., donneront la forme des briques de quatre en quatre assises. Ces briques ont intérieurement la pente de la cuve; les autres côtés sont verticaux.

Fig. 3. Coupe des étalages servant à déterminer les dimensions et la forme des briques. On opère ici d'une manière tout-à-fait analogue à la précédente, en ajoutant au tracé la partie II, qui forme la base de la cuve. Cette partie est cylindrique, et construite en briques réfractaires de mêmes dimensions que celles des premières assises de la cuve, mais dont tous les côtés sont verticaux; elle doit descendre jusqu'à un point *g*, tel, que la distance *g*8 soit au moins égale à la longueur que l'on veut donner aux briques réfractaires des étalages.

On fixe alors l'épaisseur des briques de manière que la dernière assise *a* 12, en coins, soit environ moitié plus haute que les autres. L'épaisseur a été prise ici de 15 centimètres pour 85 de longueur, ce qui donne à peu près les plus fortes briques que l'on puisse fabriquer sans trop de difficultés. On trace ensuite, *fig.* 4, des cercles concentriques correspondant aux points 1, 2, 3, 4.......14; puis, divisant la circonférence en 32 parties égales, comme pour la cuve, on prend les longueurs 14*n*, 13*m*....9*h*,

8g.....3b et *2a*, respectivement égales aux mêmes lignes, *fig.* 1, et, par les points *n, m, l.....g, a,* on fait passer des arcs de cercles qui déterminent le plan de chaque brique. Le bout intérieur des briques est coupé en biseau suivant la pente des étalages; les autres côtés sont verticaux.

Les étalages sont construits indépendans de la cuve, ce qui permet de les réparer ou de les renouveler sans difficulté. Le derrière L'L' des assises est rempli en briques ordinaires.

Fig. 5. Élévation de la cheminée du fourneau. *Fig.* 6, coupe verticale passant par les portes de chargement, ou suivant la ligne 3, 4, *fig.* 7.

Fig. 7. Coupe horizontale suivant la ligne 1, 2, de la figure précédente.

H, H, maçonnerie en briques réfractaires, plus épaisse à la base, afin d'avoir plus de solidité. Cette maçonnerie est assise sur un anneau en fonte A A, posé sur la dernière assise de la cuve.

J, J, joues en fonte des portes de chargement.

D, D, recouvrement des portes.

B, B, cadre de grille placé entre des coulisses que portent les joues; G, grille sur laquelle on verse les matières, et qui fait office de crible pour en séparer les poussiers.

bb, boulon servant à empêcher l'écartement des joues.

gg, cercles en fer feuillard, serrés au moyen de clavettes, et placés sur des joints d'assise.

Fig. 8. Plan de l'anneau A A, en deux parties, que l'on réunit par des agraffes en fer placées en dessous. Chaque partie porte des mortaises *aa*, pour recevoir les tenons des joues.

Fig. 9. Plan d'un recouvrement de porte, ayant également des mortaises *a'a'*.

Fig. 10. Coupe d'un recouvrement suivant la ligne 5, 6, *fig.* 9. Une forte nervure verticale s'oppose à la flexion de cette pièce.

J, *fig.* 11, joue ou montant de porte vu de face. *Fig.* 12, J', montant vu en dessus; *d, e,* tenons qui se logent dans les mortaises *a* et *a'* de la plaque A, *fig.* 8, et du recouvrement, *fig.* 9; *cc*, coulisse pour recevoir le cadre de grille.

Fig. 13. Projection horizontale d'un cadre de grille BB. *Fig.* 14, coupe suivant la ligne 7, 8, de la figure précédente. Ce cadre porte une feuillure pour recevoir la grille.

Fig. 15. Plan de la grille en fonte GG. *Fig.* 16, G'G', coupe de la grille suivant la ligne 7, 8.

Fig. 17, *gg*, parties de cercles de la cheminée, vues en élévation. *Fig.* 18, mêmes parties *g'g'*, vues en plan. Les deux extrémités portent des talons entre lesquels on enfonce une ou plusieurs clavettes *n* pour les faire écarter; deux liens *mm* retiennent les bouts fixés l'un sur l'autre.

Fig. 19. Rondelle d'armature des hauts-fourneaux vue de face. *Fig.* 20, même rondelle vue de profil et appliquée contre la maçonnerie; *hi* représente le tirant en fer qui traverse la rondelle, et *l* la clavette qui serre la rondelle contre la maçonnerie.

PLANCHE 17.

Disposition du haut-fourneau de Vienne (Isère) et de son plan incliné; échelle de $\frac{1}{100}$.

Ce fourneau représenté *fig.* 1, partie en coupe AA, partie en élévation latérale, est composé d'une base prismatique B, surmontée d'une tour conique CC. Derrière est un bâtiment DD, dont l'étage supérieur est au niveau du plan du gueulard, et communique avec lui par un pont P. A cet étage aboutit un plan incliné en charpente GH, par lequel on élève toutes les matières.

La *fig.* 2 présente une coupe au-dessus du gueulard suivant la ligne 1, 2 de la *fig.* 1, et la projection horizontale du plan incliné.

Sur ce plan sont fixées deux voies formées de bandes en fonte, sur lesquelles roulent des chariots. Au moyen du mécanisme que l'on va décrire, un de ces chariots V est élevé avec sa charge, tandis que l'autre chariot V' descend pour en aller recevoir une nouvelle. Au milieu des deux voies est une espèce d'escalier formé de tasseaux en bois *s s s*, pour le passage des ouvriers.

Deux treuils ou tambours *t*, *t*, fixés sur un même axe dans le bâtiment DD, servent à enrouler et à dérouler les cordes auxquelles sont attachés les chariots. Ces cordes sont soutenues de distance en distance par des rouleaux *r*, *r*, afin qu'elles ne frottent pas sur les madriers du plan incliné.

Voici comment le mouvement est transmis aux tambours, qui doivent tourner alternativement dans un sens et dans le sens opposé.

R est la roue hydraulique qui met en mouvement les machines soufflantes. Sur l'arbre de cette roue est fixée une roue d'engrenage *a*, qui transmet le mouvement à une roue semblable *a'*; l'arbre de cette dernière porte une roue conique *c*, engrenant avec une autre *d*, dont l'arbre en fer *ef* se prolonge jusqu'à l'étage supérieur du bâtiment DD. L'extrémité de cet arbre porte deux roues folles *gg'*, et un manchon que l'on peut embrayer avec chacune d'elles à volonté; enfin ces roues engrènent avec une roue *h* placée sur l'axe *i* des tambours. Au moyen d'un levier à fourchette *l*, ayant un point d'appui sur la charpente d'un petit appentis extérieur N, on engage le manchon avec l'une ou l'autre des roues *g*, *g'*, et l'on donne ainsi à l'arbre *i* et aux tambours un mouvement de rotation alternatif, comme on le verra par l'explication de la Planche suivante. Les cordes des chariots s'enroulant en sens inverse sur les deux tambours, l'un des chars est élevé pendant que l'autre descend.

Pour transporter les matières, on ne les charge pas immédiatement sur les chars. Le combustible est placé dans des paniers ou rasses qui servent en même temps de mesure; les minerais et la castine sont placés dans de petites caisses ferrées. Des cases séparées pour chaque espèce de minerai et pour la castine sont établies sur le plancher supérieur, et l'on y dépose ces matières, que les chargeurs prennent ensuite en quantités et proportions voulues.

I, I, sont les voies d'un contre-plan incliné, établi sur le penchant de la

montagne voisine du fourneau, pour éviter un arrêt brusque, et par suite la fracture des chars, dans le cas où une corde se casserait.

M, dépôt des minerais et fondans, et atelier de cassage.

K, magasin à coke, où l'on descend par un petit escalier *z*.

E, L, passages des voitures.

F, atelier sur la toiture duquel s'appuie la partie supérieure du plan incliné.

b, *fig.* 2, bouton fixé sur l'un des bras de la roue *a*, qui fait office de manivelle, pour mettre en mouvement le balancier d'une des machines soufflantes.

PLANCHE 18.

Mécanisme élévateur du plan incliné de l'usine de Vienne (Isère); échelle de $\frac{4}{100}$.

Ce mécanisme est établi d'une manière aussi simple et aussi économique que possible; il exige très peu d'entretien, et fonctionne avec toute la régularité désirable.

La *fig.* 1 le représente vu latéralement, en coupe suivant la ligne 1, 2, *fig.* 2.

La *fig.* 2 est une élévation par-devant, en supposant l'un des tambours découvert.

T, T', tambours en bois montés sur croisillons en fonte, et ayant un arbre commun en fer I'; cet arbre est en deux parties réunies par un manchon, pour la facilité du montage et des réparations. Les supports de cet arbre sont portés par des jumelles A, A, boulonnées aux poutres du plancher.

I, *fig.* 2, bout d'arbre en fer prolongeant le précédent, et placé parfaitement dans le même axe. A l'extérieur du bâtiment, il porte la roue *h*, qui, au moyen des roues *g*, *g'* et du manchon *i*, peut prendre un mouvement de rotation alternatif; à l'autre extrémité, il porte un manchon fixe *m*, qui embrasse le bout de l'arbre I'.

n, manchon à gorge glissant sur l'arbre I', et servant à établir ou à intercepter la communication entre cet arbre et l'arbre I du mécanisme extérieur.

KL, levier en fer ayant son point de rotation en O. Il porte deux branches soudées *p*, *q*, qui viennent se réunir à une fourchette embrassant la gorge du manchon *n*. Ce levier, étant mis en mouvement à la main ou par les chars, fait embrayer et débrayer les deux manchons.

B, B, *fig.* 1 et 2, bâtis en charpente légère destinés à porter un arbre en bois CC, et contre lesquels sont établies les cages E, E, des tambours.

D, D, leviers brisés auxquels l'arbre CC sert d'axe de rotation. La petite branche de ces leviers porte une tringle en fer FF, à laquelle est suspendue une chappe L. Cette chappe embrasse l'extrémité du levier KL, qui se relie ainsi avec les leviers D, et suit leurs mouvemens.

Ce système, très simple, a pour but d'arrêter le mouvement de rotation des tambours, par les chars parvenus à l'extrémité de leur course, et de se mettre ainsi à l'abri des accidens que pourrait entraîner l'inattention des ouvriers, si ce soin leur était confié.

Voici comment s'opère l'arrêt des

tambours, et comment on leur rend un mouvement en sens contraire du premier.

Le manchon *i*, *fig.* 2, étant embrayé avec la roue *g*, et le tambour T, *fig.* 1, par exemple, ayant enroulé la corde *ab* jusqu'à ce que le char V vienne rencontrer la grande branche du levier brisé DD, la tête du char presse ce levier, et lui fait prendre la position D′ D′; la tige FF, *fig.* 2, soulève alors l'extrémité du levier KL, et fait débrayer le manchon mobile *n*. Dès lors le mouvement des tambours est arrêté, quoique l'arbre I continue à tourner. Le levier brisé est maintenu dans la position D′D′ au moyen d'un ressort à talon *kl*, qui se meut avec lui et s'accroche à l'intérieur des bâtis de cages. On peut ainsi reculer les chars à la main, sans que le levier brisé change de position.

Lorsqu'on veut faire descendre le char, un ouvrier va d'abord faire changer le sens de rotation de l'arbre I, en embrayant le manchon *i* avec la roue *g′*; puis il vient décrocher le ressort *kl*; le poids P suspendu à la chappe de la tige FF fait alors revenir le levier brisé dans sa première position, et embrayer le manchon *n* avec le manchon *m*, ce qui rétablit la communication entre les arbres I et I′. Il suffit alors de pousser le char jusque sur la pente du plan incliné.

Afin que le poids P ne vienne pas porter sur le tambour T, on adapte à la grande branche du levier DD une tige d'arrêt *k′ l′*, qui fixe l'amplitude de sa course.

L'une des cordes *ab* s'enroule en dessus du tambour T, et l'autre *cd* s'enroule en dessous du tambour T′, en passant par-dessus un rouleau en bois *r*.

V, chariot en bois avec roues en fonte. Il porte à sa traverse de derrière une *servante* ou *pied de biche x*, traînant sur une crémaillère, pour retenir le char à la montée, en cas de rupture de la corde. On relève ce pied de biche pour faire descendre le char.

Fig. 3. *Détail de la transformation de mouvement; échelle de* $\frac{1}{100}$. — *ef*, arbre en fer recevant le mouvement de la roue hydraulique, comme on l'a vu Pl. 17, et tournant toujours dans le même sens. Cet arbre est rond à partir de son épaulement inférieur, et porte deux entailles *bb* parallèles à l'axe, et situées dans un même plan; son extrémité est d'un diamètre un peu moindre que le corps.

gg′, roues *folles* ou tournant librement en tous sens sur l'arbre. Le moyeu *mm* de la roue *g′* repose sur l'épaulement formé par le corps de l'arbre.

ii, manchon en fonte enfilé sur l'arbre, et emboîtant les moyeux des roues. Ce manchon est percé pour recevoir deux goujons à tête *dd*, qui traversent son épaisseur et entrent dans les entailles *bb*. Ces goujons obligent le manchon à tourner avec l'arbre *ef*, en lui laissant la faculté de glisser dans le sens de sa longueur. A chaque extrémité du manchon sont des encoches *cc*, disposées pour recevoir des nervures ou taquets *aa* ménagés sur les roues, en sorte qu'il peut s'embrayer avec l'une ou l'autre, et l'entraîner dans son mouvement de rotation.

Il est facile de voir que selon que le manchon *i* sera embrayé avec l'une ou l'autre des roues *g*, *g′*, la roue *h*, qui engrène constamment avec toutes deux, tournera dans un sens ou dans le sens opposé, en faisant marcher la roue libre *g′* en sens contraire de la roue embrayée *g*, et réciproquement.

ef, *fig.* 4, vue séparée de l'arbre

moteur, indiquant les entailles *bb*, dont la largeur et la profondeur sont d'environ 2 centimètres.

Fig. 5. Coupe du manchon *i* suivant la ligne 3, 4, *fig.* 3. *e*, arbre traversant le manchon; *d*, goujon engagé dans cet arbre.

Fig. 6. Manchon *i* vu par bout; *cc*, encoches pour l'embrayage.

Fig. 7. Roue d'engrenage *h* vue de face; S, *fig.* 3 et 7, son support boulonné sur un fort madrier UU, scellé dans le mur du bâtiment; S, *fig.* 8, même support vu en plan.

Pour rendre le mouvement plus doux et plus régulier, les dents de la roue *h* sont en bois, et celles des roues *g*, *g'*, sont divisées exactement et limées.

Fig. 9. *Embrayage des tambours*; I, arbre portant la roue *h*; I', arbre des tambours; *m*, manchon fixé au moyen d'une clavette *c* et d'une cheville *o*, sur l'arbre I; *n*, *fig.* 9 et 10, manchon à gorge glissant sur l'arbre I'; une languette *c'* fixée dans l'arbre oblige ce dernier à tourner avec le manchon; *t*, *t*, taquets saillans; *f*, fourchette d'embrayage embrassant la gorge du manchon.

Chariots de plans inclinés. Ces chariots sont ordinairement construits en bois, et montés sur des roues légères en fonte, d'où résulte qu'ils résistent peu de temps, que les roues se cassent fréquemment, et que le service peut s'en trouver momentanément arrêté si l'on n'a pas de char de rechange. Pour éviter ces inconvéniens, M. Walter a fait construire pour l'usine de Lavoulte des chariots tout en fer.

La *fig.* 11 est le plan d'un de ces chariots dont le fond est enlevé en partie, pour laisser voir l'assemblage qu'il recouvre; la *fig.* 12, une coupe suivant la ligne 5, 6, *fig.* 11, et la *fig.* 13 une élévation par-derrière.

aa, *fig.* 11 et 12, côtés ou brancards en fer de 55 à 60 millimètres de largeur, sur 9 à 10 d'épaisseur; *b*, *b*, entretoises en fer carré de 20 millimètres; celles des bouts sont assemblées à boulons avec les brancards; les autres sont rivées; *cc*, fond en tôle d'une ligne, clouée sur les entre-toises; *f*, *f*, essieux en fer carré de 30 millimètres, les fusées tournées; *g*, *g*, échantignolles en fonte, à chapeaux; elles sont boulonnées aux brancards, et reçoivent entre des grenouilles en bronze une partie de la fusée des essieux. *rr*, roues en fer dont le moyeu *m* est fixé par une vis de pression sur le bout de la fusée, en sorte qu'elles tournent avec l'arbre; leur jante est en fer rond, ce qui les empêche d'accrocher latéralement, dans le cas où les bandes du plan incliné viendraient à se déranger. Le moyeu et les rais sont forgés d'une seule pièce, qui s'assemble à la jante au moyen de petits goujons; *o*, piton auquel s'attache la corde; *xx*, servante attachée en *n* à l'une des entre-toises, et que l'on soutient par une chainette à la descente des chars; *dd*, *fig.* 12 et 13, dossiers du char, formés de montans en fer plat, assemblés par des traverses en fer rond; *e*, *e*, bras de force; *p*, crochet à pointe droite fixé à chacun des montans de devant, pour y reployer l'excédant de longueur de corde.

Fig. 14. Élévation extérieure d'un bout de brancard portant une échantignolle. *Fig.* 15, plan de cette partie. *Fig.* 16, coupe faite par l'axe de l'essieu, *fig.* 14. *g*, échantignolle boulonnée d'un côté avec le brancard *aa*, et de l'autre avec le brancard et le bras de force *e*; *h*, chapeau de l'échantignolle; *ff*, essieu tournant avec ses roues.

PLANCHE 19.

Disposition des hauts-fourneaux et du plan incliné de l'usine de Lavoulte, (Ardèche), par M. Walter; échelle de $\frac{1}{1000}$.

Les hauts-fourneaux de l'usine de Lavoulte sont établis à proximité du Rhône, au pied d'une colline, et rangés parallèlement à un grand mur de soutenement M, *fig.* 1 et 2, qui s'élève jusqu'à la hauteur du plan des gueulards. A la même hauteur est une plate-forme TT, sur laquelle sont construits le hangard de chargement H, le magasin à coke KK, les fours de grillage G et les magasins de minerais crus D, situés en arrière et tout le long des fours.

Les minerais et fondans arrivent par la partie supérieure, et sont conduits aux fourneaux par un pont Y, sous lequel passe le plan incliné PP; le coke arrive par voie de navigation, et les bateaux sont amenés jusque dans un grand bassin AA, auquel vient aboutir ce même plan.

Les bateaux prennent en retour de la fonte, qui, au sortir de la fonderie F, est pesée, puis embarquée par une simple glissoire en bois.

Le coke, au sortir des bateaux, doit être immédiatement chargé sur les chars, puis élevé à volonté, soit jusqu'à la plate-forme des fourneaux, soit jusqu'à la partie supérieure du magasin à coke. De plus, le niveau des eaux éprouvant de grandes variations, le déchargement doit s'opérer facilement, quelle que soit la hauteur de ce niveau. Les lignes xx, yy, zz, représentent les eaux basses, moyennes et hautes.

Pour satisfaire à ces conditions, une partie du plan incliné, construite sur pilotis, *fig.* 2, s'avance dans le bassin; elle se prolonge jusqu'en arrière du hangard de chargement H, en traversant le mur de soutenement, et là se trouve un palier où les chars peuvent s'arrêter pour être déchargés. Au-delà de ce palier est une seconde partie de plan incliné, s'élevant jusqu'à un second palier établi au niveau des entraits de la charpente du magasin à coke K. Sur ces entraits est établi un petit chemin de fer pour conduire le combustible jusqu'au bout du magasin.

La hauteur des eaux obligeant presque toujours d'avancer les bateaux jusqu'au-dessus du plan incliné, comme on le voit *fig.* 2, et les chars ne pouvant alors en approcher, ils sont reçus sur une culée mobile à roulettes Q, Q, que l'on fait monter ou descendre selon le besoin, au moyen d'une chaine qui passe sur une poulie, et va s'enrouler sur un treuil *g*. Par cette disposition, le déchargement des bateaux s'opère toujours de la même manière, quel que soit le niveau des eaux; seulement il faut rallonger ou raccourcir les cordes qui tirent les chars.

La partie inférieure du plan incliné, qui recouvre le régulateur R des machines soufflantes, *fig.* 2, est supportée: 1°. par quatre poteaux ss, reliés deux à deux par une ferme F'; 2°. par quatre autres poteaux uu, assemblés sur semelle et reliés en croix. Ces poteaux correspondent aux bords du plan, et sont coiffés de traverses t, t. Dans toute

la partie supérieure, le plan incliné est soutenu latéralement par des murs qui portent les traverses.

ll, *fig.* 1 et 2, sont des longuerines reposant sur les traverses et portant un tablier en madriers de sapin.

Sur ce tablier, sont posées huit rangées de bandes à équerre, formant quatre voies pour les chars, en sorte qu'on peut toujours avoir deux chars montans et deux descendans.

mn, *mn*, *fig.* 1, sont des coupures faites dans le tablier pour laisser passer les cordes, comme l'indique la *fig.* 2.

Voici comment les chars sont mis en mouvement :

A côté du plan incliné est placé le bâtiment L L, *fig.* 1, dans lequel sont les machines soufflantes S, S′, et les machines à vapeur V, V′, qui les font marcher. Sur les arbres des volans de ces dernières et sur d'autres arbres *ab*, *bc*, *ce*, sont des roues d'angle, au moyen desquelles on donne à l'arbre *ce* une vitesse de rotation convenable. Les roues qui sont sur ce dernier, en *c* et en *d*, peuvent être embrayées et débrayées à volonté, d'où résulte qu'il peut être mû par la machine V ou par la machine V′, ou ne recevoir aucun mouvement. Il est superflu d'observer qu'on ne doit jamais prendre le mouvement des deux machines à vapeur en même temps.

L'arbre *ce* communique le mouvement à deux mécanismes *f*, *fig.* 2, placés sous le plan incliné, et munis chacun d'un tambour qui enroule et déroule simultanément les cordes de deux voies contiguës. Ces cordes, passant dans des poulies *k*, *h*, *i*, sont ramenées sur le plan incliné et vont s'attacher aux chars *v*. Elles sont soutenues de distance en distance par des rouleaux en bois, afin qu'elles ne frottent pas sur le plan.

La communication de mouvement et le mécanisme *f*, sont réglés de manière que la vitesse des chars soit de 1^m à 1^m10 par seconde. On trouvera dans les planches suivantes les détails du plan incliné et de ce mécanisme.

Fig. 3. Coupe du plan incliné suivant la ligne 5, 6, *fig.* 2. *aa*, semelle; *b*, *b*, poteaux assemblés sur cette semelle et coiffés par la traverse *t*, *t*; cette traverse porte les longuerines *l*, *l*, sur lesquelles sont cloués les madriers du tablier.

Fig. 4. Coupe suivant la ligne 7, 8, *fig.* 2. *c*, *c*, semelles encastrées dans les murs latéraux, sur lesquelles sont assemblés les poteaux *d*, *d*, *f*; *l*, *l*, traverse; *g*, *g*, potelets sur lesquels s'assemblent de petites longuerines laissant entre elles l'espace nécessaire au passage des cordes.

Fig. 5. Coupe suivant la ligne 9, 10, *fig.* 2, présentant la même disposition de charpente que la précédente, pour le passage des cordes. Ces deux figures font voir en coupe les quatre voies des chars.

Sous la semelle *h′h′*, sont placées les jumelles *i*, *i*, qui portent les poulies *h*, *fig.* 2, et qui sont projetées en *ik*, *ik*, *fig.* 6.

Fig. 7. Coupe des fours de grillage et des magasins de minerais, suivant la ligne 3, 4 du plan, *fig.* 2. G, G, fours de grillage; N N, escalier pour descendre sur la plate-forme des fourneaux. *o*, conduit pour égouter les eaux de la plate-forme des fours. D, magasin de minerais crus, divisé en plusieurs compartimens et situé en arrière des fours; D′, *fig.* 1, magasin d'outils et de cordages, prolongeant le précédent et formant avec lui un seul bâtiment de même longueur que le massif des fours. Les murs de compartimens correspondent aux axes de séparation des fours, et ont 1^m d'é-

paisseur jusqu'à la naissance des pignons, afin de pouvoir résister à la poussée du minerai. Les pignons sont réduits à 0^m50 d'épaisseur, et supportent une charpente de galerie en belvéder. Dans cette galerie est un petit chemin de fer *q q*, correspondant à chaque extrémité avec un chemin semblable *r r*, qui va jusqu'aux galeries de mine. Le passage d'une voie à l'autre se fait au moyen de plaques tournantes *p* qui servent en même temps de balances. Les chars à minerais sont construits à bascule, et viennent se vider dans les différens compartimens du magasin D, par l'entre-deux de la voie *q q*.

Le transport des minerais grillés se fait par un chemin de fer passant sur le pont Y et longeant les fourneaux; celui du combustible, par d'autres chemins allant directement de chaque fourneau à la porte correspondante du magasin à coke.

B, bascule pour peser le coke quand on le décharge au premier palier du plan incliné; une autre bascule est placée sur le chemin de fer que porte la charpente du magasin à coke, pour peser tout ce qu'on emmagasine.

C, bureau des commis de roulement.

I, I, *fig.* 1, emplacement des fourneaux de chaudières à vapeur et de leur cheminée O.

PLANCHE 20.

Détails du plan incliné de l'usine de Lavoulte (Ardèche), et de sa culée mobile, par M. Walter; échelle de $\frac{1}{100}$.

Fig. 1. Plan d'une moitié de la culée mobile placée sur le plan incliné, et vue en-dessus. *Fig.* 2, seconde moitié du plan de la culée, le tablier de madriers étant enlevé. *Fig.* 3, coupe du plan incliné et de la culée mobile, suivant la ligne 1, 2, du plan, *fig.* 1. *Fig.* 4, élévation antérieure de la culée, ou suivant la ligne 3, 4, de la *fig.* 3. *Fig.* 5, coupe suivant la ligne 5, 6, de la même figure. *Fig.* 6, vue postérieure de la culée, suivant la ligne 7, 8 de la *fig.* 2. *Fig.* 7, coupe suivant la ligne 9, 10 de la *fig.* 1, ou en travers du logement des chars.

Le plan incliné PP, *fig.* 1 à 3, porte quatre voies juxtà-posées deux à deux, et composées de bandes en fonte à équerre E, E. Entre les deux voies intérieures, reste un espace libre de 76 centimètres de largeur, servant de passage aux ouvriers, et sur lequel sont cloués des liteaux servant d'escaliers. Dans chaque voie sont placées, suivant toute la longueur du plan incliné, des bandes de crémaillères F, F, dont les dents présentent des points d'appui successifs aux pieds de biche ou servantes des chars, en sorte que ceux-ci ne peuvent dégringoler, lors même que les cordes qui les tirent viendraient à casser.

Les *fig.* 2 à 5, font voir la mode d'assemblage des pièces Q′ Q′, qui forment la charpente de la culée, de manière à présenter un tout très solide. Sur cette charpente sont placées des longuerines boulonnées, dont les extrêmes et les deux du milieu supportent tout l'assemblage des pièces qui composent les logemens A, A, des chars. Enfin les

longuerines ainsi que les cadres des logemens sont recouverts de madriers de sapin, formant un tablier Q, Q.

Les logemens A, A, des chars C, C, forment un renfoncement, ayant pour but, 1°. d'arrêter les chars, dans le cas où, par inadvertance des ouvriers, ils viendraient à dégringoler; 2°. de rendre leur chargement plus facile, en les abaissant au-dessous du tablier de la culée.

Ce chargement se compose de six caisses ou paniers rectangulaires, portés par deux ouvriers, et formant deux rangs superposés.

Le logement des chars prolonge exactement chaque double voie du plan incliné, et son fond porte des bandes à équerre continuant celles des voies.

B, B, *fig.* 1, 3, 6 et 7, plateaux tournant sur un arbre en fer, et servant, dans les deux sens, de plancher à l'un des ouvriers qui chargent un char.

D, D, *fig.* 1 à 3, planches assemblées à charnières avec les cadres de logemens, et qui, s'appuyant sur le tablier du plan incliné, sauvent le ressaut formé par les cadres.

d, d, semelles en fer, à charnières pour raccorder les bandes des voies avec celles des logemens de chars.

Ces semelles, ainsi que les planches, se relèvent lorsqu'on veut remonter la culée.

G, G, chaine passant par-dessus une poulie fixée sur le plan incliné, au moyen de laquelle et d'un treuil on fait monter ou descendre la culée mobile.

c, c, c, pattes à crochet fixées des deux côtés de la culée, sur le plan incliné; elles servent à amarrer les chaînes *b, b,* attachées aux crochets de culée *a, a,* et à retenir la culée dans la position convenable.

Fig. 17, échelle de $\frac{1}{100}$. Coupe longitudinale du premier palier, Pl. 19; *fig.* 18, coupe transversale d'une moitié de ce palier suivant la ligne 13, 14 de la *fig.* 17.

c, c, corde passant sous le plan incliné P P, et dont la partie inférieure s'enroule sur les treuils ou tambours, tandis que l'autre extrémité repassant sur le plan incliné, vient s'attacher au char.

ff, aiguilles à charnières du premier palier, montées sur un arbre carré *a a,* dont les supports sont fixés après les poteaux de ce palier.

b, petit levier à fourchette, monté sur le même arbre *a a.*

Au palier supérieur est une disposition semblable, seulement les aiguilles n'ont point de charnière. *d d,* tiges tirantes en fer, attachées aux leviers à fourchettes *b,* et communiquant au moyen de renvois avec un mécanisme disposé pour arrêter le mouvement des tambours, comme on le verra dans la planche suivante.

Lorsqu'on veut arrêter les chars sur le premier palier, on déploie les aiguilles *ff,* dont la longueur est telle, qu'elles rencontrent l'entre-toise de devant des chars. Ceux-ci tirés par les cordes, les poussent dans la position f'; alors le levier *b* agissant sur les tiges *d d,* prépare le décrochement de l'arrêt des tambours, lequel est entièrement terminé lorsque les aiguilles sont parvenues dans la position f''. A cet instant le mouvement du tambour sur lequel la corde s'enroule, est arrêté, et le char l'est en même temps.

Lorsque les chars doivent s'élever jusqu'au sommet du plan incliné, on replie les aiguilles du premier palier pour les laisser passer, et ils sont arrêtés sur le

second palier, par des moyens semblables.

Lorsqu'on veut faire redescendre les chars, un ouvrier les repousse un peu en arrière, les aiguilles reviennent à leur première position, et le conducteur, au signal donné par un coup de sonnette, change le mouvement de rotation des tambours, comme on le verra plus loin. On conduit alors les chars jusqu'à la pente du plan incliné, et ils descendent pendant que d'autres s'élèvent.

Fig. 19. Vue de face d'une aiguille à charnière, déployée. *Fig.* 20, coupe et vue de côté indiquant les position *g* et *g'* que peut prendre le bout de l'aiguille.

Fig. 8. Élévation longitudinale d'une bande à équerre des voies du plan incliné; *fig.* 9, plan de cette bande; *fig.* 10, coupe transversale.

Fig. 11. Élévation d'une partie de crémaillère; *fig.* 12, plan de cette partie; *fig.* 13, coupe suivant la ligne 15, 16 de la *fig.* précédente.

Fig. 14. Élévation latérale de l'une des semelles en fer *d d*, servant à raccorder les voies du plan incliné avec celles des logemens de chars; *fig.* 15, plan de cette semelle; *fig.* 16, coupe passant par la charnière ou suivant la ligne 11, 12 de la *fig.* 15.

PLANCHE 21.

Mécanismes élévateurs des chars du plan incliné de l'usine de Lavoulte, par M. Walter; échelle de $\frac{4}{100}$.

On a vu, Pl. 19, la disposition de ces mécanismes sous le plan incliné, et de quelle manière le mouvement leur est transmis par les machines à vapeur; il suffira donc ici de décrire leur construction et le jeu de leurs parties.

Les deux mécanismes sont entièrement semblables, et sont placés de manière que les arbres des tambours qui portent les cordes, correspondent verticalement, au milieu de chaque double voie du plan incliné.

Fig. 1. Élévation d'un mécanisme, vu du côté où se tient l'ouvrier qui doit le manœuvrer; *fig.* 2, coupe horizontale passant au-dessus du support à consoles Y Y, ou suivant la ligne 3, 4 de la *fig.* 1; *fig.* 3, coupe verticale du mécanisme suivant l'axe du tambour T T; *fig.* 4, plan au-dessus de la plaque d'assise U U, *fig.* 1; *fig.* 5, élévation latérale du tambour et des poulies de renvoi, et coupe de la communication de mouvement suivant la direction du levier de manœuvre *l l*.

A A, longuerines posées sur maçonnerie, parallèlement au mur de soutenement M M, et sur l'une desquelles s'assemblent trois poteaux, B, B. Ces poteaux sont coiffés par des pièces D D, scellées dans le mur et portées en outre par des poteaux G adossés à ce mur.

CC, CC, fermes en charpente, posées sur les longuerines et portant les plaques d'assise U U des mécanismes.

I I, jumelles sur lesquelles sont boulonnés les supports Q Q.

Toute la charpente est en chêne, et les pièces de fondation sont chargées de maçonnerie en fortes pierres.

L L, arbre de couche qui, au moyen des deux roues égales R, R, transmet le mouvement à un arbre en fer V V.

a a, arbre en fer à renflement pro-

longeant de chaque côté l'arbre V V, et relié avec lui par les manchons X, X. Sur l'arbre *a a*, sont placés, un manchon à coulisse *b*, tournant avec l'arbre, et deux roues folles *c*, *c*. Le manchon, manœuvré au moyen d'un levier à fourchette *l l*, peut embrayer avec l'une ou l'autre roue, et la faire marcher dans le même sens que l'arbre *a a*.

Y Y, support en croix à consoles, posé sur la plaque d'assise U U. Il porte une boite en fonte *g g*, dans laquelle sont ajustées, une plaque de frottement de pivot, en acier, et une crapaudine en cuivre, pour recevoir le bout inférieur d'un arbre vertical *e e*, *fig.* 3 et 5.

Sur cet arbre est fixée une roue d'angle *n n*, engrenant avec les roues folles *c*, *c*.

O, O, petites colonnes creuses prolongeant celles du support à consoles, et portant une plaque Z Z, et un croisillon Z′ Z′. De grands boulons, traversant les colonnes, assemblent le tout solidement sur la plaque d'assise.

La plaque Z Z reçoit une crapaudine en cuivre dans laquelle passe l'arbre *ee*; et sur cet arbre est enfilé un manchon à coulisse *h*.

ff, arbre du tambour ou treuil vertical, dont l'extrémité inférieure porte un téton qui s'engage dans le bout de l'arbre *e e*, et un manchon fixe *i*. Les tourillons de cet arbre sont retenus par une crapaudine placée dans le croisillon Z′Z′, et par une crapaudine en fonte garnie de coussinets de cuivre, fixée sur une pièce de bois E E.

Par la disposition des roues *c*, *c* et *n*, étant tout-à-fait semblable à celle des roues du mécanisme élévateur décrit Pl. 18, selon le côté où se fera l'embrayage du manchon *b′*, l'arbre *e e* tournera dans un sens ou dans le sens opposé; et si l'on suppose le manchon *h* embrayé avec le manchon *i*, comme l'indique la *fig.* 1, l'axe du tambour et le tambour participeront à ce mouvement. Les cordes étant enroulées en sens contraire sur le tambour, *fig.* 5, on voit que l'un des chars d'une double voie du plan incliné montera, tandis que l'autre descendra.

s, *fig.* 4 et 5, support du levier de manœuvre *l l*. *K*, poteau en bois portant une plaque en fer percée de deux trous correspondant aux positions extrêmes du levier. Une cheville engagée dans l'un ou l'autre trou maintient le levier dans ces positions, et sert aussi à l'arrêter dans la position intermédiaire, position dans laquelle le manchon *b* n'est embrayé avec aucune des roues *c*.

Voici maintenant le moyen d'arrêter les tambours et par suite le mouvement des chars, sans que les engrenages cessent de marcher.

Un levier d'embrayage *k k*, *fig.* 5, embrasse la gorge du manchon *h* et porte à son extrémité un poids *q*; ce levier a la position *k′ k′*, quand le manchon n'est pas embrayé, et on l'élève au moyen d'une corde passant sur une poulie de renvoi *p*. Il est maintenu dans cette position par un chien à ressort *r*, *fig.* 1 et 5. Une bande à équerre N N, *fig.* 1 à 4, est fixée sur les plaques Z Z, et porte des supports S, S avec des renvois de mouvement. A ces renvois viennent s'attacher, d'une part : les tiges tirantes *d d*, descendant sous le plan incliné, et mises en mouvement par les chars, comme il a été expliqué dans la description de la planche précédente; d'autre part, des tiges à chaînettes *d′*, *d′*, qui viennent embrasser les têtes des chiens. Les chars étant parvenus à leur destination, font jouer ces tiges, décrocher les chiens, et alors le levier *k′ k′* et son poids *q*, faisant

tomber le manchon *h*, l'axe du treuil cesse de participer au mouvement de l'arbre *ee*.

Les cordes de chaque tambour passent sous des poulies en fonte P, P, portées par des potences en charpente appliquées contre le mur M. Des couronnes en bois sont disposées sur les tambours, pour soutenir les cordes en cas de rupture, afin qu'elles ne puissent venir s'engager dans les engrenages et les faire briser.

Détails sur échelle double. — *Fig*. 6. Coupe passant par l'axe des arbres *e*, *f*, indiquant leur mode de superposition et l'assemblage des manchons *h* et *i*.

Fig. 7. Élévation du manchon *i*; *fig*. 8, élévation du manchon *h*; *fig*. 9, plan de ce même manchon vu en-dessus.

Fig. 10. Vue latérale du levier d'embrayage *k k*; *fig*. 11, plan de ce levier, indiquant l'assemblage des parties dont il se compose.

Fig. 12. Vue par-devant du chien d'arrêt *r*; *fig*. 13, vue de côté de la même pièce, un des côtés de la chappe qui le contient étant enlevé.

Fig. 14. Élévation par derrière de l'un des manchons d'embrayage X; *fig*. 15, vue latérale de ce même manchon.

Les dimensions des tambours T, T, sont réglées de manière que la vitesse des chars sur le plan incliné, soit en moyenne de 1ᵐ par seconde.

PLANCHE 22.

Porte-vents et ustensiles de hauts-fourneaux.

Porte-vents à robinet de l'usine de Lavoulte (Ardèche), par M. Walter, échelle de $\frac{1}{100}$. — *Fig*. 1. Vue de face ou du côté de la tubulure T qui conduit le vent aux tuyères; *fig*. 2, vue en-dessus; *fig*. 3, vue latérale; *fig*. 4, coupe suivant la ligne 3, 4 de la *fig*. 1; *fig*. 5, coupe suivant la ligne 1, 2, *fig*. 1, le robinet étant ôté de sa boite; *fig*. 6, élévation du robinet, du côté de l'ouverture; *fig*. 8, coupe horizontale du robinet suivant la ligne 5, 6, *fig*. 4; *fig*. 9, coupe verticale suivant la ligne 7, 8 de la *fig*. 8.

Ces porte-vents, dont toutes les parties sont en fonte, se composent d'un tuyau A surmonté d'une boite cylindrique B B portant une tubulure T; cette boite est fermée par un couvercle C C muni d'une boite à étoupes D, et dans son intérieur est ajustée une clef de robinet évidée, comme l'indique la *fig*. 9. Cette clef, dans laquelle est réservé un œil *o* de même diamètre que la tubulure T, se manœuvre au moyen d'une tige cylindrique en fer et de la manivelle *m* qui y est adaptée. Elle porte deux cordons saillans et un renflement autour de l'œil, tournés à un diamètre tel que ces parties s'appliquent contre la surface intérieure de la boite, qui est alésée. L'air arrivant par le tuyau A, pénètre dans la clef, et, suivant que l'œil est tourné vers la tubulure T, ou appliqué contre les parois de la boite, le vent se porte aux tuyères ou est arrêté.

A la tubulure T s'adapte une allonge et une *culotte* ou tuyau en cuir terminé par une buse en tôle, comme l'indiquent les *fig*. 3 et 7, Pl. 14.

En se servant d'air chaud, il faut remplacer les culottes par des tuyaux en tôle.

Porte-vents à clapet de l'usine de Vienne (Isère), échelle de $\frac{1}{10}$. — Ces

porte-vents, employés à Vienne depuis qu'on y fait usage de l'air chaud, sont représentés par les *fig.* 10 et 11. La *fig.* 10 est une coupe verticale passant par les axes des tubulures d'entrée et de sortie d'air, ou suivant la ligne 11, 12 de la *fig.* 11; la *fig.* 11 est une coupe verticale faite perpendiculairement à la première, ou suivant la ligne 9, 10 de la *fig.* 10.

La boîte à vent B, B porte une tubulure T par laquelle arrive l'air, et a deux de ses côtés adjacens fermés par des plaques portant : l'une, la tubulure de travail D, par laquelle on donne le vent à une tuyère; l'autre, la tubulure de décharge D', par laquelle on laisse échapper l'air lorsqu'on ne veut pas l'employer.

Cette disposition est nécessaire toutes les fois qu'on se sert d'air chaud, parce que, si on se bornait à arrêter le vent, les tuyaux dans lesquels on le chauffe seraient promptement détruits, et seraient même exposés à se fondre.

Les rebords intérieurs des tubulures D et D' sont dressés au tour, et disposés de manière qu'un clapet tournant CC vienne s'y appliquer exactement. Ce clapet est en fonte, porte de chaque côté une saillie annulaire dressée au tour, et il est fixé après un arbre en fer au moyen de deux fourchettes *h, h.* L'arbre traverse un des côtés de la boîte, et porte une poignée *m* au moyen de laquelle on manœuvre le clapet. Ce dernier reste appliqué contre l'orifice de décharge, par la seule pression de l'air, pendant qu'on donne le vent au fourneau.

Les tubulures D et D' sont prolongées par des tuyaux en tôle terminés par des buses de même diamètre.

Fig. 12. Fourchette *hh,* montée à clavette sur l'arbre du clapet (Échelle double).

Fig. 13. Coupe horizontale par le centre du clapet CC, indiquant les saillies annulaires et la position ponctuée des fourchettes *hh.*

Porte-vents à vanne de l'usine de Firmy (Aveyron), échelle de $\frac{1}{100}$. *Fig.* 14, élévation latérale; *fig.* 15, élévation du côté de la tubulure T' d'arrivée d'air; *fig.* 16, coupe suivant la ligne 13, 14 de la figure précédente; *fig.* 17, coupe verticale suivant la ligne 15, 16 de la *fig.* 16.

A, tuyau d'arrivée de l'air; BB, boîte à vent à deux tubulures, dont l'une T' donne entrée à l'air dans la boîte, et l'autre T le laisse échapper pour le conduire aux tuyères.

t, t, fig. 16 et 17, vanne en fonte portant une crémaillère *c,* qui engrène avec un pignon *p.* Cette vanne, vue en élévation, *fig.* 18, et en coupe, *fig.* 19, est rembourrée et recouverte d'un cuir, qui, s'appliquant sur l'orifice de la tubulure T, par la pression de l'air, intercepte le vent.

L'arbre du pignon est manœuvré au moyen d'une manivelle *m,* et porte à l'extérieur un rochet *r* pour maintenir la vanne fermée, ou ouverte de telle quantité qu'on le veut.

D, D, tuyau d'allonge auquel s'adapte la culotte en cuir qui porte la buse.

Fig. 20. *aa,* élévation d'une crapaudine en cuivre de l'arbre du pignon; *a' a',* coupe de la même pièce.

En substituant à la vanne à garniture en cuir une vanne tout en fonte, et ménageant au-dessous de la tubulure T une issue de décharge, ce genre de porte-vents conviendrait aussi pour l'emploi de l'air chaud.

Un appareil tout-à-fait semblable, et seulement plus grand en dimensions, est placé sur la conduite de vent principale,

derrière chacun des fourneaux de Firmy, pour établir ou supprimer la communication entre cette conduite et le fourneau. La boîte à vent, porte du côté de la vanne, un orifice de décharge égal à peu près à la somme des orifices moyens des buses d'un fourneau, afin que la pression ne change pas sensiblement. La *fig.* 8, Pl. 10, et sa description, font connaître la disposition générale de cet appareil.

Porte-vents à soupape, échelle de $\frac{1}{100}$. La *fig.* 21 représente une coupe verticale du porte-vent, et la *fig.* 22 un plan suivant *m n*, laissant voir le siége ou la plaque de soupape.

B, B, boîte à tubulure T' dans laquelle arrive l'air; *a a*, plaque de soupape portant un guide *g g* pour la tige *t t* de cette soupape; *s*, soupape en fonte rodée sur sa plaque de manière à bien fermer, et d'un poids tel, qu'elle puisse s'ouvrir malgré la pression de l'air, lorsqu'on ne la soutient plus.

A A, tuyau ou corps de porte-vent muni d'une tubulure T pour diriger le vent vers la tuyère. Il est fermé par un couvercle portant boîte à étoupes pour le passage de la tige, et au bout de cette dernière s'ajuste une douille à clavette pour la suspendre, soit à l'extrémité d'un levier, soit à une chaîne passant sur des poulies. Ce levier ou cette chaîne servent à soulever la soupape et à la tenir fermée.

Porte-vents à tiroir de l'usine d'Abersychan, pays de Galles (Sud), par M. Philip Taylor, échelle de $\frac{1}{100}$. — L'appareil représenté par les *fig.* 31 et 32 est placé sur la conduite principale, et sert à faire la distribution du vent à toutes les tuyères d'un fourneau à la fois. La *fig.* 31 est une coupe verticale de la conduite A A et du porte-vent, suivant la ligne 19, 20 de la *fig.* 32. La *fig.* 32 est une coupe perpendiculaire à la précédente, ou suivant la ligne 17, 18 de la *fig.* 31. *Fig.* 33, plan du siége à coulisse C C sur lequel glisse un tiroir en cuivre *t t*; la ligne 21, 22 indique aussi la coupe représentée par la *fig.* 31. *Fig.* 34, coupe de ce siége suivant la ligne 23, 24 de la *fig.* 33, indiquant le bout en élévation. *Fig.* 35, vue en-dessus du tiroir.

Au moyen du pignon *p*, engrenant avec la crémaillère *c c*, on fait marcher le tiroir *t t* qui repose sur le siége C C, et afin que le tiroir ne s'écarte pas de sa direction, des règles en fer *d d*, *fig.* 31, 32 et 33, sont appliquées sur les côtés du siége. La course du tiroir est fixée par le bout du siége d'un côté, et par une règle d'arrêt de l'autre côté.

Un cadre en fonte D, D, *fig.* 31 et 32, est placé entre le siége et le tuyau en tôle A A, et à l'extérieur se trouve une boîte B B à laquelle s'adaptent les tuyaux T, T qui doivent conduire le vent aux tuyères. Des boulons à épaulemens assemblent en même temps le siége, le cadre et la boîte à vent.

On voit, par cette disposition, qu'en ouvrant le tiroir, les trois tuyères reçoivent le vent en même temps, de même qu'elles cessent de le recevoir lorsque le tiroir est fermé.

Tuyères, échelle de $\frac{1}{10}$. — *Fig.* 23, élévation d'une tuyère en fonte, du côté de la grande ouverture ou *pavillon* O. *Fig.* 24, élévation du côté du petit bout ou *museau* M. *Fig.* 25, coupe suivant la ligne 25, 26 de la *fig.* 23. *Fig.* 26, coupe suivant la ligne 27, 28 de la même figure.

Le *plat* PP de cette tuyère, ou la partie sur laquelle elle pose, forme ici une pièce séparée, mais il n'y a aucun

inconvénient à faire la tuyère d'une seule pièce; dans ce cas, l'œil *o* de la tuyère ainsi que le museau sont de forme circulaire. Lorsque la section du pavillon est de forme rectangulaire, on la raccorde avec celle de l'œil; mais on peut du reste donner au pavillon une forme circulaire ou ovale, en conservant toujours une partie plate pour asseoir la tuyère.

Tuyères à eau. Fig. 27, vue d'une tuyère en-dessus. *Fig.* 28, élévation du côté du museau M. *Fig.* 29, élévation du côté du pavillon O. *Fig.* 30, coupe suivant la ligne 29, 30 de la figure précédente.

Ces tuyères se composent d'une double enveloppe en tôle de trois lignes d'épaisseur ou en fonte, dans laquelle on établit une circulation continuelle d'eau froide, afin que le museau de la tuyère ne brûle ou ne fonde pas. Lorsque la double enveloppe est en tôle, les deux bouts sont fermés par des rondelles en fer bien soudé à la tôle. Dans tous les cas, l'œil *o* est circulaire, et le pavillon est circulaire ou ovale, en laissant toujours un plat en-dessous.

Les tuyères en tôle portent ordinairement une queue *q*, pour les placer et les enlever plus facilement.

Un tuyau en fer *t*, *fig.* 29 et 30, vissé dans la rondelle de pavillon, sert à amener l'eau d'un réservoir supérieur à la tuyère; un autre tuyau *t'*, vissé dans la même partie, et se relevant au-dessus du pavillon pour que l'eau remplisse toute la capacité de la double enveloppe, sert à évacuer l'eau qui s'est échauffée pendant son passage.

Ustensiles, fig. 36 à 51, échelle de $\frac{1}{100}$.

Fig. 36. Plan d'une *conche* en tôle ou en cuivre, dont on se sert pour charger les minerais et fondans, et contenant 25 à 30 kil. de ces matières; *fig.* 37, coupe transversale de cette conche. On fait aussi des demi-conches ayant une capacité moitié moindre.

Fig. 38 et 39. Vues de profil et de face d'un ringard à ouvrir le trou de coulée, et que l'on nomme *lâche-fonte*, *perçoir* ou *débouchoir*. On l'enfonce à coups de masse, et il a un talon sur lequel on frappe pour le retirer.

Fig. 40. Ringards à pointe dont on se sert pour travailler dans le creuset, haler les laitiers, faire des grilles, etc.

Fig. 41 et 42. Ringards à biseau dont on se sert pour détacher les matières qui s'attachent aux parois intérieures du creuset.

Fig. 43. *Bouchoir* pour battre la terre qui forme la garniture sous la tympe et autour des tuyères.

Fig. 44. *Fourgon* ou *rateau* pour nettoyer le creuset.

Fig. 45. *Hampe* portant un bouton à chaque bout. Autour de l'un de ces boutons on forme un bouchon conique en laitiers, représenté en *b* par ligne ponctuée, et le fondeur introduit ce bouchon, plus ou moins, dans le trou de coulée, pour empêcher la fonte de sortir en trop grande abondance.

Fig. 46 et 47. Plan et élévation d'une masse en fer du poids de 12 à 13 kil., servant à frapper sur le lâche-fonte et sur les ringards à biseau, lorsqu'ils éprouvent trop de résistance. On se sert en outre d'un marteau à main du poids de 3 à 4 kil.

Fig. 48. *Charrue* en bois dont on se sert pour ouvrir dans le sable les rigoles qui doivent recevoir la fonte en fusion; *fig.* 49, plan du soc de la charrue.

Fig. 50. Vue par bout; *fig.* 51, vue de côté, d'une *batte* ou *battoir*, servant à aplanir les parois des rigoles après le passage de la charrue.

PLANCHE 23.

Machine soufflante, à caisses en bois et à simple effet, des forges de Jean-d'Heurs (Meuse); échelle de $\frac{1}{100}$.

Parmi les diverses dispositions de machines soufflantes à caisses, celle que l'on offre ici se recommande par sa simplicité et par le peu d'espace qu'elle exige, en satisfaisant d'ailleurs aussi bien que possible à toutes les conditions d'une bonne construction.

La machine se compose de deux caisses contiguës, avec tous leurs accessoires. La *fig.* 1 représente une partie de l'élévation antérieure; la *fig.* 2, le plan du bâti qui porte les caisses vu en-dessus, ou suivant la ligne 1, 2, *fig.* 1. La *fig.* 3 est une portion de coupe longitudinale, indiquant l'intérieur d'une caisse et du réservoir d'air supérieur U. La *fig.* 4 est une coupe horizontale faite suivant la ligne 3, 4, *fig.* 1. La *fig.* 5 représente la machine vue latéralement en élévation, et la *fig.* 6 est une coupe transversale suivant la ligne 5, 6, *fig.* 1.

Toutes les autres figures représentent divers détails d'exécution de la machine.

Le moteur est une roue hydraulique en-dessous, faisant 9 à 10 tours par minute, et dont l'arbre A porte une lanterne L' L', *fig.* 1, 2 et 6. Cette lanterne engrène avec un rouet en bois R R, dont l'arbre B B porte deux doubles cames C C, lesquelles mettent en mouvement les pistons des caisses.

Le rapport entre les rayons de la lanterne et du rouet est tel, que, suivant la vitesse de la roue, les pistons fournissent chacun six à sept levées par minute.

F, F, *fig.* 1 à 6, poteaux du bâti qui porte les caisses. Ils sont assemblés dans un cadre inférieur composé de pièces en chêne D D, D' D' assemblées à mi-bois, *fig.* 3 et 6; et dans un cadre supérieur G G, G' G'. L'assemblage est consolidé dans le bas par des jambes de force extérieures, et dans le haut par des aisselliers placés à tous les angles intérieurs.

J, J, *fig.* 3, 4 et 5, moises embrassant les poteaux, et destinées à porter une échantignolle S, sur laquelle repose l'un des tourillons *t* de l'arbre B B. Cette échantignolle est logée dans une entaille, et des coins ou clés *m' m'*, *n' n'* servent à régler sa position et à la fixer.

H, H, *fig.* 1, 3, 5 et 6, traverses fixées à entailles et boulons sur les faces latérales des poteaux, pour supporter la pièce K K. La position de cette dernière est aussi réglée par des coins *nn*, *fig.* 2, 5 et 6.

I, I, *fig.* 1 à 6, jumelles verticales assemblées dans des traverses E E du cadre inférieur, et boulonnées sur la pièce K K. Ces jumelles embrassent les cames, et portent des coulisses en fonte *aa*, qui servent à guider les tiges T, T des pistons.

I' I', buttes assemblées d'une part dans les jumelles I I, et traversant d'autre part le mur voisin M M; elles sont arrêtées invariablement par des clés *z z* appuyant contre des plaques de bois *l l*, et servent ainsi à empêcher toute flexion dans les jumelles.

LL, *fig.* 1 à 6, pièce de ressorts, supportée par deux fourchettes en bois *pp*, reposant sur les traverses HH. Des coins *qq* servent à élever convenablement et à maintenir cette pièce.

rr, *fig.* 1, 2, 3 et 6, ressorts boulonnés en *o* sur la pièce LL, et destinés à recevoir les pistons lorsqu'ils descendent.

NN, *fig.* 1, 3, 5 et 6, caisses soufflantes carrées dont la partie extérieure est composée de madriers assemblés horizontalement à languettes. L'intérieur est garni de planches en bois dur placées verticalement, de manière que le frottement des pistons s'exerce dans le sens du fil du bois. Ces caisses sont retenues solidement sur leur bâti au moyen de traverses QQ et de boulons *xx*. Elles ont une séparation commune *v*, *fig.* 1 et 3.

U, U, réservoir d'air placé sur les caisses, et communiquant avec elles par des orifices OO, munis de soupapes de retenue *s'*. Ce réservoir est fixé sur les traverses QQ par des brides en fer et par des boulons *yy*.

V, V, tuyau en ferblanc par lequel le vent s'échappe du réservoir et est conduit aux foyers.

P, *fig.* 3 et 6, piston en bois portant deux soupapes d'aspiration *s*; *kk*, traverse du milieu sur laquelle est assemblée la tige T; *ii*, traverses de côtés. Ces traverses sont reliées à la tige par des arcs-boutans en fer *hh*, *h'h'*, qui maintiennent le piston bien perpendiculairement sur sa tige. Les arcs-boutans *hh* sont disposés de manière à ne pouvoir rencontrer la pièce de ressort, lorsque le piston est au haut de sa course.

m, taquet placé sous la traverse du milieu, et qui vient appuyer sur l'un des ressorts *r*, à la descente du piston.

gg, *fig.* 1, 3 et 6, galets ou roulettes en fonte placés au bas des tiges T, pour recevoir la pression des cames CC.

Les cames conduisent les pistons en montant, et les retiennent en descendant, afin qu'ils ne retombent pas de tout leur poids sur les ressorts, et ne soient pas brisés par le choc.

Détails sur échelle double. Fig. 7, coupe d'une came passant par l'axe ou suivant la ligne 9, 10, *fig.* 8. Cette dernière figure représente l'une des cames CC, prête à pousser le galet *g* d'une tige, tandis que l'autre came, placée dans la position ponctuée C'C', continue à pousser le galet *g'* de la seconde tige. Par cette disposition, au moment où l'un des pistons descend, l'autre a déjà suffisamment comprimé l'air pour l'obliger à passer dans le réservoir U, en sorte que le vent sort de ce réservoir sans intermittence, et sous une pression peu variable.

La courbure des cames est formée par la développante *ced* d'un cercle *abc*, tangent à la verticale *fh* que doit suivre le centre du galet; d'où résulte que ce galet est toujours poussé dans la même direction. La longueur des cames est réglée ici de manière que la course ou levée des pistons soit de 0^m60.

Fig. 9 à 15. Détails de la partie inférieure d'une tige, et des coulisses qui la conduisent. T, *fig.* 9 et 13, partie de tige dont le bout inférieur est embrassé par une chappe formée de deux pièces en fonte *bb*. Un galet *g* tourne entre ces deux pièces, et chacune d'elles a une languette *c* qui glisse dans la rainure *dd* d'une coulisse en fonte *aa*. La *fig.* 10 présente une coupe des coulisses et de la chappe suivant la ligne 7, 8, *fig.* 9, et la position des jumelles II sur lesquelles les coulisses sont fixées.

Fig. 11. Coupe d'un galet *g* passant

par son axe. *Fig.* 12, élévation intérieure d'une partie de coulisse *aa*, indiquant la rainure *dd* de cette coulisse.

Fig. 14. Vue intérieure d'une pièce de chappe; *fig.* 15, coupe de la même pièce par le milieu de sa largeur. On voit dans cette dernière figure la saillie de l'emboiture *ef* qui embrasse la tige, et celle de la languette *c*.

Fig. 16. Détail d'assemblage des ressorts *rr* sur la pièce de ressort L. Les ressorts sont assemblés sur la pièce par un boulon commun, et des taquets ou coins *tt* les tiennent soulevés à la hauteur convenable.

Fig. 17. Coupe d'une soupape *s*; *fig.* 18, plan d'une soupape vue en-dessous. *a*, couvercle ou volant de soupape garni d'un cuir *cc*, ou mieux d'une peau de mouton avec sa laine; cette garniture est fixée au volant par des vis à bois munies de rondelles, et sert de charnière : un de ses côtés est à cet effet retenu sur le bord de l'orifice que doit fermer la soupape, par une bride *b* en bois ou en fer.

Fig. 19. Élévation d'une partie du rouet R, monté sur l'arbre des cames; *fig.* 20, coupe transversale de la jante du rouet. Ces deux figures indiquent les dimensions des diverses parties de cet engrenage.

On trouvera dans la planche suivante les détails d'un piston de la machine.

PLANCHE 24.

Divers genres de pistons en bois; échelle de $\frac{6}{100}$.

Fig. 1 et 2. Piston de la machine soufflante de Jean-d'Heurs précédemment décrite. La *fig.* 1 représente le piston vu en-dessus; la *fig.* 2 est une coupe verticale passant par la ligne 1, 2 du plan.

PP, plateau du piston composé de deux rangs de madriers superposés, et solidement assemblés sur trois traverses *i*, *i* et *k*. Celle du milieu reçoit la tige T qui y est retenue par une clé *nn*; et des arcs-boutans *hh*, boulonnés sur la tige et sur les autres traverses, consolident cet assemblage.

Le plateau est percé de deux orifices carrés *o*, *o*, recouverts par des soupapes d'aspiration *s*, *s*, dont la planche précédente offre un détail.

l, *l*, liteaux mobiles en bois dur, qui laissent entre eux et les madriers supérieurs du plateau un espace occupé par des ressorts *rr*. Ces ressorts font appliquer les liteaux contre les parois intérieures des caisses, de manière à ne laisser à l'air comprimé d'autre issue que par les soupapes.

c, *c*, brides en fer vissées sur le plateau, et laissant aux liteaux le jeu nécessaire à leur mouvement. Ces brides empêchent les liteaux de se déranger lorsque le piston descend.

Fig. 3 et 4. *Piston carré, par M. Sonolet.* — *Fig.* 3, plan du piston; *fig.* 4, coupe suivant la ligne 3, 4 du plan; *fig.* 5, vue latérale ou élévation de ce piston.

Il se compose d'un plateau PP de madriers bien joints, et boulonnés sur trois fortes traverses A, A. Dans celle du milieu vient se fixer la tige du piston, à tenons et mortaises, et quatre arcs-boutans *h*, *h* consolident cet assemblage.

F, F, liteaux fixes boulonnés sur le plateau. L, L, liteaux mobiles posés sur

le plateau, laissant entre eux et les précédens un espace pour loger les ressorts de pression *rr*. Les liteaux mobiles sont composés, dans le sens de leur longueur, de deux parties assemblées librement à rainures et languettes; des ressorts *r' r'* tendent à écarter ces parties, et en font appuyer les extrémités soit contre la caisse, soit contre le liteau voisin.

B, B, presses ou brides en bois, placées aux angles et au milieu des liteaux fixes, sur lesquels elles sont boulonnées. Elles maintiennent les liteaux mobiles sans gêner l'action des ressorts de pression.

s, soupape en bois garnie en cuir, recouvrant l'orifice *o*, par laquelle se fait l'aspiration de l'air; elle est maintenue par deux charnières en fer à crochets.

Fig. 6. Détail sur échelle double de la coupe du piston, indiquant le mode d'assemblage, et les dimensions des diverses parties non cotées dans les figures précédentes.

Fig. 7 et 8. *Piston circulaire en bois, par M. Sonolet.* — *Fig.* 7, plan du piston vu en-dessus; *fig.* 8, coupe suivant la ligne 5, 6 du plan.

Ce piston, construit à l'imitation de ceux qu'on emploie pour les machines soufflantes à cylindres en fonte, diffère principalement des précédens par sa garniture, qui, au lieu de se composer de liteaux frottans contre les parois intérieures, est faite avec des bandes de cuir qui s'appliquent contre ces parois, et ferment d'autant plus hermétiquement le passage à l'air, que ce dernier est plus comprimé. Les cylindres soufflans de l'usine du Pas (Bretagne), où ce genre de pistons est employé, sont en fonte; mais si les essais déjà faits procurent enfin les moyens d'avoir de bons cylindres en bois, ce genre de pistons pourra parfaitement leur être adapté.

Le plateau PP se compose de trois épaisseurs de bois à fils croisés, et porte des liteaux fixes FF, et des liteaux mobiles LL, espacés des premiers d'environ 2 centimètres. Entre les liteaux mobiles sont des coins G qui peuvent se mouvoir du centre à la circonférence, au moyen de vis de rappel *v*, *v*, et servent à faire avancer les liteaux vers les parois du cylindre, sans les y faire joindre. Ces liteaux et les coins sont recouverts d'un cuir *cc*, embouti en gobelet, dont le rebord extérieur se relève de 4 centimètres environ contre la surface du cylindre, et par-dessus le cuir sont fixées, au moyen de boulons, six segmens en bois HH qui servent à maintenir le tout. Les écrous qui serrent les segmens ont pour rosettes des platines en fer *a*, *a*, encastrées de leur épaisseur, et destinées à empêcher les segmens de se voiler ou de se casser sous la pression des boulons. Des tasseaux fixes I, I, de l'épaisseur des segmens, ont pour but d'assurer la position circulaire de ces derniers.

La soupape d'aspiration *s* est en tout semblable à celle du piston précédemment décrit.

Détails sur échelle double. — *Fig.* 9, ajustage d'un coin G sur le liteau fixe FF. *v*, vis de rappel avec son écrou à oreilles *ee*, encastré dans le liteau.

Fig. 10. Détail d'une coupe faite suivant l'axe d'une vis de rappel. A, renfort composé de jantes circulaires boulonnées avec le plateau P, comme l'indique la *fig.* 9. FF, liteau fixe qui reçoit l'écrou *e* de la vis. G, coin dans lequel la vis est fixée par son extrémité. HH, segment qui recouvre et serre la garniture en cuir *c*.

Le bout de la vis porte une gorge plate tournée, qui correspond à une mortaise de même largeur pratiquée

dans le coin G. Cette gorge est embrassée par deux pièces en fer *i, i fig.* 11, que l'on introduit dans la mortaise, et que l'on serre au moyen de deux clés en bois *d, d.*

Fig. 12 à 14. *Piston carré par MM. Marland frères.* — La *fig.* 12 présente le plan de ce piston, le plateau qui recouvre les liteaux étant enlevé. La *fig.* 13 est une vue extérieure, et la *fig.* 14 une coupe de ce piston suivant la ligne 7, 8, du plan. Il se compose d'un plateau central PP, contre lequel appuient les ressorts *rr,* qui poussent les liteaux, et de deux plateaux inférieur et supérieur A et B, laissant aux liteaux le jeu nécessaire. Les liteaux LL appuient de chaque côté sur des coins ou liteaux d'angle G, G, et les font appliquer contre les parois de la caisse soufflante. Des croisillons en fer encastrés dans le bois, en-dessus et en-dessous du piston, et boulonnés entre eux, maintiennent l'assemblage des plateaux. La tige T est en fer et tournée; elle traverse les deux croisillons qui servent de rosettes, d'une part à l'embase et de l'autre à l'écrou entre lesquels le pistion est très fortement serré.

Détails sur échelle double. — *Fig.* 15, plan de l'un des liteaux L; *fig.* 16, profil de la même pièce; *fig.* 17, plan d'un liteau d'angle G, vu de profil, *fig.* 18. Le premier porte à chaque bout une languette qui entre librement dans la rainure que porte le grand côté du coin, de manière que leur assemblage puisse obéir à l'action des ressorts.

Ce piston, bien entendu et simple dans sa composition, est disposé pour des caisses à double effet, mais il peut servir également avec des caisses à simple effet, en plaçant une soupape d'aspiration sur le couvercle de la caisse, comme on le fait pour les machines soufflantes en fonte.

Fig. 19 à 22, *piston carré à garniture en cuir, par M. Walter.* — *Fig.* 19, plan du piston vu en-dessus; *fig.* 20, coupe suivant la ligne 11, 12 du plan; *fig.* 21, élévation latérale, la garniture en cuir étant enlevée de ce côté; *fig.* 22, détail sur échelle double.

Ce piston est disposé ici pour une caisse à simple effet, portant la soupape d'aspiration sur son couvercle.

Le plateau du piston se compose de trois rangs de madriers P, A, B, dont l'inférieur forme saillie sur tout le pourtour. Sur chaque côté sont trois tasseaux *t, t,* assemblés à queue d'ironde sur le fond P, et un liteau mobile *ll* repose sur ces tasseaux. Des brides en fer *b, b,* maintiennent les liteaux sans les serrer, en sorte qu'ils peuvent se mouvoir horizontalement, pour se rapprocher ou s'éloigner des parois de la caisse. Ces liteaux portent des chevillettes *c,* qui limitent leur mouvement dans les deux sens, en passant dans des trous allongés pratiqués au bout des brides.

Des garnitures en cuir *g g* étant clouées d'une part sur les liteaux, d'autre part sur le bord du fond P, il est facile de voir que, dans le mouvement ascensionnel du piston, l'air comprimé s'introduisant sous les liteaux agira sur les garnitures pour les presser contre les parois de la caisse, et que, par cette disposition, l'air ne pourra s'échapper le long de ces parois.

Pour avoir un piston de caisse à double effet, il n'y a qu'à établir au-dessus du plateau P la même construction qu'en-dessus.

PLANCHE 25.

Machines soufflantes à cylindres en fonte et à double effet, par M. Walter; échelle de $\frac{15}{1000}$.

Les *fig.* 1, 2 et 3 offrent la disposition de la machine soufflante des forges de Montiers-sur-Saulx (Meuse), et présentent un exemple de soufflerie mue par une roue hydraulique.

Cette machine est mise en mouvement par une roue à augets RR de 3^m30 de diamètre extérieur, sur 1^m35 de largeur entre les couronnes qui encaissent les augets. Le volume d'eau disponible au minimum est de 145 litres par seconde, et la chute correspondante mesurée du niveau supérieur au-dessous de la roue est de 3^m, en sorte que la plus petite force transmise par la roue est de 4 chevaux de force, calculés à raison de 75 kilogrammètres par seconde.

La *fig.* 1 représente une coupe longitudinale de la machine soufflante passant par l'axe du cylindre soufflant CC.

La *fig.* 2 est un plan de la machine passant par-dessus le cylindre.

La *fig.* 3 représente une élévation des colonnes I, I, et de l'entablement HH qui supportent le balancier GG de la machine prise suivant la ligne 1, 2 de la *fig.* 2. Sur l'arbre A de la roue hydraulique est montée une roue d'engrenage B, de 2^m10 de diamètre, qui fait marcher un pignon D, de 0^m60 de diamètre. L'arbre E de ce pignon porte une manivelle M qui, au moyen d'une bielle F, transmet le mouvement à un balancier en fonte GG. La tige *tt* du piston P est attachée au balancier par l'intermédiaire d'un parallélogramme destiné à lui conserver sa verticalité. Le piston, en se mouvant dans le cylindre soufflant CC, aspire et chasse l'air alternativement, tant en-dessus qu'en-dessous, et cet air s'écoulant par le tuyau latéral T est conduit à un haut fourneau par les tuyaux T'.

Dans le bâtiment MM est construite une fosse QQ dont les murs servent de base à l'établissement de toutes les parties de la machine. X, X sont des intervalles entre les murs de fosse et ceux du bâtiment, lesquels sont remplis en terre bien battue.

OO, LL, *fig.* 1 et 3, pièces de bois transversales, assemblées avec les poteaux S, S, et encastrées dans les murs du bâtiment.

N, N, autres pièces de bois, logées dans les murs de fosse.

ff, plaque de fond du cylindre soufflant, fixée par six boulons de fondation *d*, *d*, lesquels traversent les pièces NN, et sont arrêtés en-dessous par des clavettes. De pareils boulons maintiennent la plaque de support de la manivelle.

I, I, colonnes en fonte boulonnées sur la pièce de bois LL, et portant un entablement en bois HH. Cet entablement est fixé sur les colonnes par de forts boulons, et encastré dans les murs latéraux. Sur cet entablement sont fixés les supports de l'arbre du balancier, lesquels sont posés sur une plaque commune en fonte.

ab, *ab*, colonnes en fer, reposant sur des oreilles *aa*, coulées avec le cylindre et formant saillie sur sa bride supérieure. Ces colonnes servent de point d'appui à l'axe de rotation des contre-balanciers

bc du parallélogramme. Deux arcs-boutans *bg*, traversant l'entablement H, et arrêtés de part et d'autre par des écrous, servent à maintenir les colonnes dans une position invariable. La *fig.* 6, qui appartient à la machine dont il sera question ci-après, indique la disposition des colonnes et de l'arbre de rotation *bb* des contre-balanciers.

Le diamètre du cylindre soufflant est de 0^m94, et la course du piston a la même longueur. La roue hydraulique faisant 6 tours par minute, le piston donne 20 coups doubles dans le même temps, et chasse 24 à 25 mètres cubes d'air sous la pression de 35 à 40 millimètres de mercure, ou environ de 0,7 de livre par pouce carré.

Le piston est à garniture en cuir, et d'une construction semblable à celle du piston de la machine soufflante de Lavoulte, décrite Pl. 26.

Machine soufflante des fineries de la forge de Terrenoire (Loire), mue par machine à vapeur à basse pression. — La *fig.* 4 présente l'élévation latérale de la machine à vapeur, et la coupe de cylindre soufflant. La *fig.* 5 est un plan des deux machines, pris au-dessus des cylindres. La *fig.* 6 est une élévation par bout de la machine soufflante.

Cette soufflerie, placée dans un petit bâtiment contigu à celui de la machine qui fait mouvoir le marteau et les cylindres dégrossisseurs de la forge, est disposée de manière que la machine à vapeur seule est placée dans le bâtiment, et que la machine soufflante est à l'extérieur, mais abritée par la halle de la forge.

C′ C′, cylindre à vapeur; B, boîte de distribution de la vapeur qui arrive par le tuyau D D.

A A, colonnes jumelles creuses, dont l'une sert à porter la vapeur sous le piston, et l'autre à la conduire au condenseur après qu'elle a agi.

U U, bâche carrée à eau froide, renfermant le condenseur. On règle l'admission de l'eau dans le condenseur au moyen d'une soupape, dont la tige à vis monte ou descend, selon le sens dans lequel on tourne la petite manivelle *m*.

X, pompe à air recevant l'eau de condensation par un tuyau carré R R, dans lequel est logé un clapet d'arrêt. K, bâche de la pompe à air, pour recevoir l'eau de condensation qui s'écoule ensuite par le tuyau S.

Y, pompe pour élever de l'eau froide. Cette eau est conduite dans la bâche du condenseur par un tuyau carré J J. Le trop plein de la bâche du condenseur est évacué par un petit tuyau latéral.

Z, pompe d'alimentation de la chaudière à vapeur.

p′ p′, *b′ c′*, parallélogramme de la machine à vapeur, disposé, ainsi que celui de la machine soufflante, de la même manière que celui de la soufflerie précédemment décrite.

G G, balancier composé de deux flasques espacés de 10 centimètres. Entre ces flasques se loge la tête de la bielle F, laquelle, au moyen de la manivelle M, transmet le mouvement au volant V V.

h, *h*, petites roues d'engrenage, égales en diamètre, pour prendre le mouvement sur l'arbre E du volant, et le transmettre à un excentrique triangulaire *e*.

ei, bielle d'excentrique, qui, au moyen du renvoi *ik*, et des tiges *kl*, fait mouvoir le tiroir qui distribue la vapeur.

Le balancier G G est porté par le mur I I, dans lequel on a réservé un arceau O.

La machine soufflante est dans le même système que la précédente, et les

mêmes parties étant désignées par les mêmes lettres, la description déjà faite, tant pour la machine que pour la fondation, s'applique ici.

On trouvera dans la planche suivante la construction détaillée des diverses parties de la machine, et la description en fera connaître les effets.

PLANCHE 26.

Machines soufflantes à cylindres et à double effet, des usines de Lavoulte (Ardèche) et Terrenoire (Loire); échelle de $\frac{5}{100}$.

Machines de Lavoulte, par Aitkin et Steel. — Elles sont mises en mouvement par des machines à vapeur, et l'on a déjà vu, Pl. 8, leur disposition générale, y compris le régulateur et les conduites de vent jusqu'aux tuyères des fourneaux. On va maintenant faire connaître, avec tous les détails nécessaires, la construction d'une soufflerie proprement dite.

La *fig.* 1 représente une coupe verticale de la machine soufflante, passant par l'axe du cylindre, ou par la ligne 1, 2, *fig.* 2; la *fig.* 2, une section horizontale faite au-dessus du piston PP; et la *fig.* 3, le couvercle de la machine, vu séparément des pièces qui y sont adaptées.

CC, cylindre en fonte alesé de manière à être parfaitement cylindrique intérieurement.

FF, grande plaque sur laquelle le cylindre est boulonné, et qui lui sert de fond. Cette plaque est fixée sur une maçonnerie couronnée en pierres de taille, au moyen de six boulons de fondation de 4 cent. de diamètre, et de 2m50 de longueur.

AA, couvercle boulonné sur la bride supérieure du cylindre.

PP, piston en fonte à garniture en cuir, supposé dans sa course ascendante. Sa tige T est en fer, et parfaitement cylindrique; elle est assemblée à clavette dans le moyeu du piston, et traverse une boite à étoupes ou stuffingbox GG adaptée au centre du couvercle. Un chapeau G′G′, que l'on serre à volonté au moyen de deux boulons, comprime les étoupes autour de la tige, de manière à ce que le vent ne puisse s'échapper par la boite.

o, o, o′, o′, fig. 1, 2 et 3, ouvertures réservées dans le fond et dans le couvercle pour l'entrée de l'air dans le cylindre, ainsi que pour sa sortie.

E, *fig.* 1 et 3, *trou d'homme* fermé par une plaque, et par lequel on pénètre dans le cylindre lorsqu'il faut changer les garnitures du piston.

BB, B′B′, boites en fonte de même forme, contenant les soupapes d'aspiration inférieures et supérieures S, *s*, et les soupapes d'expiration S′, *s′*. La *fig.* 4 présente l'élévation antérieure de la boite B′B′ placée sur le couvercle du cylindre; la *fig.* 5, une élévation par derrière, et la *fig.* 6, une coupe horizontale suivant la ligne 1, 2 de la *fig.* 4. Chaque boite contient trois soupapes d'aspiration et trois soupapes d'expiration, séparées entre elles par des diaphragmes à nervure *a a, a′ a′*; et la partie qui s'applique contre le fond ou contre le couvercle porte des ouvertures correspondantes aux ouvertures *o, o′*, et de mêmes dimensions.

p, poids suspendu à une chaînette pour empêcher les soupapes d'aspiration de se renverser, et pour les faire fermer. Toutes les autres soupapes se ferment par leur propre poids.

Ces soupapes sont formées d'un cuir recouvert d'une peau de mouton avec sa laine, serrées entre deux plaques de tôle de 2 lignes et demie d'épaisseur. La garniture en cuir sert de charnière, et la peau de mouton sert à rendre le battement des soupapes plus doux, en même temps que sa laine procure une fermeture plus exacte.

DD, D'D', tuyaux en tôle d'une ligne, communiquant entre eux, et conduisant alternativement l'air comprimé dans le réservoir ou régulateur.

Détails de pistons sur échelle double. — *Fig.* 10, fragment du plan d'un piston à garniture en cuir; *fig.* 11, coupe suivant la ligne 5, 6 du plan.

Ce piston se compose d'un plateau en fonte Q, *fig.* 1, 10 et 11, renforcé par des côtes ou nervures *n*, *n*, *fig.* 2, placées alternativement en dessus et en dessous. Le bord circulaire de ce plateau présente une double gorge II avec des épaulemens LL qui s'élèvent jusqu'à la hauteur des nervures. Les gorges ainsi que le pourtour extérieur des épaulemens sont tournés. Des bandes de cuir fort *c*, *c* sont appliquées sur les gorges, et se relèvent de 4 centimètres environ contre les parois du cylindre; et huit segmens en fonte H, H, serrés par de doubles boulons *dd*, maintiennent ces cuirs.

Les *fig.* 12 et 13 représentent un double boulon *dd*, dont le corps porte en *t* un ergot destiné à empêcher le boulon de sortir de son logement.

d', *fig.* 10, trou de boulon percé de part en part dans la gorge; à sa partie supérieure est une coulisse verticale *e*, *e*, *fig.* 10 et 11, pour recevoir l'ergot du boulon, communiquant avec une rainure horizontale *ee'*, dans laquelle se loge l'ergot en lui faisant faire un quart de tour. On bouche la coulisse avec un morceau de bois entrant librement, afin que le boulon ne puisse se déplacer lorsqu'on serre les écrous.

Fig. 14, fragment de plan d'un piston à garniture de chanvre; *fig.* 15, coupe suivant la ligne 7, 8 du plan.

Q, plateau du piston renforcé par huit nervures *n*, et portant un anneau cylindrique II. Ce plateau se prolonge extérieurement à l'anneau, et forme un rebord R sur lequel repose la garniture G. Cette dernière est recouverte d'un cercle en fer HH, et des presses ou brides *ff* placées sur chaque nervure, et serrées par des boulons *d*, compriment la garniture pour la faire appliquer contre les parois du cylindre.

Ce système de piston fut primitivement employé pour les machines de Lavoulte; mais la nécessité de refaire fréquemment les garnitures, lui a fait substituer des pistons garnis en cuir. Ces derniers exigent un trou d'homme au fond du cylindre.

Les machines de Lavoulte fournissent moyennement dix-huit coups doubles de piston par minute, et produisent chacune 6,000 pieds cubes d'air dans le même temps; chaque machine motrice est de la force de soixante chevaux.

Machine soufflante des affineries de Terrenoire, par M. Walter. — La disposition que présente cette machine est particulièrement applicable aux petites souffleries, dans lesquelles on n'a souvent que très peu d'espace pour placer les soupapes, et dont la construction

doit surtout être aussi économique que possible.

La Planche 25 représente l'ensemble de cette machine soufflante, avec la machine à vapeur qui la met en mouvement, et après la description de la soufflerie de Lavoulte, une énumération succincte des parties suffira pour la faire connaître complétement.

CC, cylindre dans lequel se meut un piston à garniture en cuir semblable à celui précédemment décrit. Le diamètre du cylindre et la course de son piston sont égaux.

Le fond du cylindre porte une soupape d'aspiration S, et une boite BB à laquelle s'adapte la soupape d'expiration S'. Le couvercle AA porte une soupape d'aspiration à contrepoids *s*, et une boite B'B' semblable à la boite BB. Ce couvercle est à rebord intérieur tourné, afin que son centre coïncide parfaitement avec l'axe du cylindre; et le passage de la tige est également tourné et garni d'une douille en cuivre.

Aux boites s'applique un tuyau carré DD, dont on voit, *fig.* 9, une coupe faite suivant la ligne 9, 10 de la *fig.* 7. Ce tuyau reçoit l'air comprimé, et cet air est conduit au régulateur par d'autres tuyaux cylindriques qui s'adaptent au précédent. Un regard R et une plaque supérieure P permettent de visiter les soupapes d'expiration S' et *s'*.

Les boites servent de trous d'homme, et sont fermées par des couvercles boulonnés.

La machine à vapeur qui fait jouer cette soufflerie est de la force de 25 chevaux; le nombre de coups doubles de piston est de 23 à 24 par minute, et la quantité effective d'air fournie dans ce temps est de 1,800 à 1,900 pieds cubes, à la densité atmosphérique.

Cet air est soumis à une pression manométrique de 2 cent. à 2 cent. et demi de mercure, et alimente deux fineries à l'anglaise, l'une à 6 tuyères et l'autre à 4.

PLANCHE 27.

Machine soufflante des forges du Creusot (Saône-et-Loire); échelle de $\frac{1}{100}$.

La machine soufflante du Creusot, l'une des plus grandes que l'on ait exécutées, est mise en mouvement par une machine à vapeur de la force de 100 chevaux, et elle est accompagnée de deux régulateurs à pistons flottans, dont on trouvera la description plus loin. Le mouvement de la machine à vapeur est intermittent, et dépendant du mouvement d'un des pistons de régulateur; en sorte que la consommation de vapeur se trouve réglée par la dépense d'air, et par conséquent aussi économique que possible.

La machine s'arrête quelques instans après chaque coup double de piston, c'est-à-dire après que celui-ci a fait une montée et une descente, et la quantité correspondante d'air chassé par la machine est d'environ 26 mètres cubes ramenés à la densité atmosphérique. La machine bat moyennement 14 coups doubles par minute, et la pression de l'air est de $1^{k}50$ par pouce carré, ou de 16 à 17 cent. de mercure dans un manomètre à air libre.

La machine, ainsi réglée, alimente d'air deux hauts-fourneaux au coke à

deux tuyères, deux fineries à six tuyères, un fourneau à la Wilkinson à deux tuyères, et deux forges de maréchal.

Lorsqu'on donne le vent aux quatre hauts-fourneaux de l'usine, la machine marche presque sans arrêt, et bat alors 17 à 18 coups simples par minute. C'est dans ce cas seulement que toute la force de la machine à vapeur est employée.

Le mode de construction de la machine soufflante est un de ceux qui conviennent le mieux aux souffleries de grandes dimensions, pour que l'air puisse s'introduire facilement dans le cylindre, et n'exige pas d'effort sensible pour être aspiré.

La *fig.* 1 est une coupe verticale passant par l'axe du cylindre CC, et par le milieu du tuyau D'D' d'évacuation de l'air. *Fig.* 2, coupe faite en dessous du piston, suivant la ligne 1, 2 de la *fig.* 1, et laissant voir les soupapes inférieures d'aspiration S', S', ou les ouvertures O, O, que recouvrent ces soupapes. *Fig.* 3, élévation du cylindre CC et de la moitié du tuyau D'D', avec ses boites DD. *Fig.* 4, élévation du cylindre, et coupe de la moitié du tuyau et des boites précédentes, suivant la ligne 3, 4, *fig.* 2, ainsi que du tuyau II, qui conduit l'air dans les régulateurs. *Fig.* 5, coupe perpendiculaire à celle que représente la *fig.* 1, ou suivant la ligne 5, 6 de la *fig.* 6, et faisant voir l'intérieur des boites B, B, qui contiennent les soupapes d'aspiration supérieures S, S. *Fig.* 6, plan de la machine soufflante, vue par-dessus le couvercle du cylindre. Les *fig.* 7 à 15 représentent des détails sur échelle double.

Le piston PP, *fig.* 1, est à garniture en cuir; sa construction est analogue à celle du piston de la machine soufflante de Lavoulte, précédemment décrit, seulement les nervures *n*, *n* se correspondent, et les segmens qui maintiennent les cuirs sont en bois.

Le fond F, F du cylindre porte, ainsi que la bride inférieure de ce cylindre, des oreilles *e*, *e*, *fig.* 1, 2 et 3, et repose sur six petites colonnes en fonte H, H, établies sur un massif de maçonnerie MM. De forts boulons de fondation assemblent la maçonnerie, les colonnes et le fond.

Ce fond est muni de huit soupapes S', S', munies de tiges *t*, *t*, glissant verticalement dans des guides *gg*, *fig.* 1, 2 et 10. L'extrémité de ces tiges porte un double écrou, au moyen duquel on règle la levée des soupapes. Toutes les tiges passent dans un cadre en fer *b*, *b*, *fig.* 1 et 2, qui sert à les diriger, à égaliser la levée de toutes les soupapes, et à les faire fermer en même temps. Ce cadre est soutenu par les écrous *dd* des tiges; et afin que son poids ne s'oppose pas au mouvement des soupapes, il est en partie équilibré par un contre-poids annulaire *p*, suspendu à des leviers *l*, *l*, *l*. Le mouvement de rotation de ces leviers s'exécute dans des chappes *c*, *c*, vissées dans le fond du cylindre, et le cadre *bb* porte d'autres chappes *i*, *i*, dans lesquelles passent les leviers sans y être retenus par des axes.

Les soupapes supérieures d'aspiration S, S, *fig.* 1 et 5, sont placées dans deux boites en fonte BB, boulonnées sur le couvercle AA du cylindre. Chaque boite contient quatre soupapes doubles à charnières, disposées sur les deux grands côtés. Les *fig.* 7 et 8 représentent une de ces boites, partie en élévation, partie en coupe longitudinale; et la *fig.* 9 est une coupe transversale suivant la ligne 7, 8, *fig.* 7.

o, *o*, sont les orifices de soupapes sé-

parés entre eux par des diaphragmes *aa*. NN, est un couvercle dont le renfoncement triangulaire a pour but principal de réduire la capacité des boîtes, et, par suite, *l'espace nuisible* dans la machine.

L'air est chassé du cylindre par les tubulures inférieure et supérieure B', B', *fig.* 1, 2 et 6, lesquelles aboutissent à des boîtes à soupapes D, D. Ces dernières communiquent entre elles par un tuyau rectangulaire D' D'; et de ce conduit latéral l'air entre dans le tuyau II, qui de chaque côté aboutit à un régulateur à piston flottant.

Les soupapes de retenue *s*, *s'* sont fixées sur des siéges en fonte L, L, *fig.* 1 et 4, dont l'ouverture est partagée en deux par un diaphragme.

Toutes les soupapes sont garnies d'un cuir qui bat sur la fonte, et ce cuir est maintenu entre une plaque en tôle forte et un cadre circulaire ou rectangulaire également en tôle, comme l'indiquent les lettres *h*, *h*, *fig.* 10, 12 et 13.

Fig. 12, double soupape d'aspiration supérieure, vue du côté du cuir. *Fig.* 13, coupe de cette soupape indiquant la disposition de la plaque de soupape, de sa pièce de charnière et du cadre *hh*.

Fig. 14, vue en dessus d'une soupape de retenue *ss*. *Fig.* 15, coupe verticale de la même soupape.

Toutes les parties non décrites ici sont semblables aux parties analogues des machines mentionnées précédemment, et sont indiquées par les mêmes lettres.

PLANCHE 28.

Régulateurs à eau de diverses usines; échelle de $\frac{1}{50}$.

Toutes les caisses CC, C'C' de ces régulateurs sont construites en plaques de fonte à brides intérieures ou extérieures, et de 25 à 30 mill. d'épaisseur. Elles sont boulonnées entre elles, et les joints sont garnis de mastic de fonte, ou de toute autre composition capable de les rendre étanches à l'eau et à l'air.

Fig. 1, coupe longitudinale d'une moitié de régulateur à bassin en fonte. *Fig.* 2, plan ou vue en dessus. *Fig.* 5, coupe transversale suivant la ligne 3, 4 de la *fig.* 2.

BB, bassin en fonte dans lequel est placé la caisse C' C' du régulateur.

e', *e'*, échancrures réservées dans les plaques de la caisse, pour établir la communication de l'eau, du dedans au-dehors de la caisse.

t' t', tasseaux buttant le bas de la caisse contre les plaques du bassin.

vv, *vv*, sommiers ou traverses en fonte boulonnées aux plaques du bassin, pour maintenir la caisse C'C' et l'empêcher de se soulever. Ces traverses sont représentées séparément en élévation *fig.* 6, en plan *fig.* 7, et en coupe transversale *fig.* 8.

D, tuyau d'arrivée de l'air dans le régulateur; H, tronçon à tubulures par lequel l'air entre dans le régulateur et en sort. Sur ce tronçon est placée une soupape de sûreté *s* à poids direct.

E, tuyau par lequel s'échappe l'air pour se rendre aux buses des foyers.

c', *fig.* 1 et 2, soupape de décharge pour l'eau, manœuvrée par une chaînette passant sur une poulie *p*.

a' b', tuyau de trop-plein pour limiter l'élévation de l'eau dans le bassin. Ce tuyau aboutit au tuyau de décharge.

m n, *fig.* 1, niveau de l'eau, la ma-

chine soufflante étant au repos; *fg*, *hl*, *fig.* 5, position des nappes d'eau intérieure et extérieure, lorsque la machine est en mouvement.

Régulateur de l'usine de Vienne (*Isère*). *Fig.* 3, coupe longitudinale de la moitié de ce régulateur. *Fig.* 4, plan correspondant.

AA, bassin en maçonnerie formé d'un double mur M et M', avec corroi en glaise entre deux. Le fond FF de ce bassin est formé d'une couche de beton, sur laquelle on a fait un pavage à chaux et ciment.

La caisse CC du régulateur repose sur des poutres en chêne PP, scellées profondément dans les murs du bassin, et y est fixée par des boulons *zz*. Des tasseaux triangulaires *t*, *t*, cloués sur les poutres maintiennent les côtés de la caisse par le bas.

L'air arrive dans le régulateur par un tuyau D, et en sort par des tuyaux séparés, tels que G, placés en divers points de la caisse.

s', soupape de sûreté à levier et contrepoids; T, trou d'homme pour pénétrer au besoin dans la caisse.

r, robinet par lequel on fait arriver l'eau dans le bassin; *cd*, soupape et tuyau de décharge; *abd*, tuyau de trop-plein.

Fig. 9 et 10, détails en coupe et plan d'une soupape à poids direct; *ii*, siége de la soupape; *s*, soupape dont la tige passe dans deux traverses *x* et *uu*. Cette dernière est portée par deux petites colonnes en fer *q*, *q*. Les rebords de la soupape et du siége sont tournés et rodés l'un sur l'autre pour fermer plus hermétiquement.

Fig. 11 et 12, détails d'une soupape de décharge *c'*.

Fig. 13, coupe d'une soupape à contre-poids. *Fig.* 14, plan de la même soupape; *s'*, soupape conique en fonte, rodée sur son siége; *k*, colonne en fonte portant un levier sur lequel court un contrepoids *o*. On diminue ou on augmente la pression de la soupape en éloignant ou approchant le contrepoids de l'axe de rotation du levier.

Régulateur de l'usine d'Éclaron (*Haute-Marne*). La construction de ce régulateur, représenté par les *fig.* 15 et 16, ne diffère essentiellement de la précédente que par la manière dont la caisse est fixée. Les traverses *v*, *v* sont en fonte, et sont boulonnées sur des encorbellemens *yy*, scellés dans la maçonnerie du bassin.

La *fig.* 17 représente l'élévation d'ensemble d'une traverse et de ses encorbellemens; la *fig.* 18, le plan de cet assemblage vu par-dessous; la *fig.* 19, un fragment de traverse vue en dessus; la *fig.* 20, un encorbellement vu en dessus; la *fig.* 21, un encorbellement vu par bout, du côté de l'emboitement qui reçoit la traverse, ou suivant la ligne 7, 8, *fig.* 17; et la *fig.* 22 est une coupe d'un bout de traverse suivant la ligne 9, 10, *fig.* 19. *vv*, traverse dont les bouts, *fig.* 19, sont percés de mortaises, pour s'assembler dans l'emboitement des encorbellemens; *u*, *u*, *fig.* 17, 19 et 22, doubles pates, entre lesquelles les plaques de la caisse sont boulonnées; *yy*, *fig.* 17, 18, 20 et 21, encorbellemens portant une plaque d'appui *z*, et renforcée par des nervures. L'emboitement, *fig.* 20, est percé de deux trous correspondant aux mortaises des bouts de la traverse.

Ce moyen de fixer la caisse est plus dispendieux que l'emploi des poutres, et n'est pas meilleur, puisque le chêne se conserve très bien dans l'eau.

Fig. 23, élévation par-devant ; *fig.* 24, coupe verticale ; et *fig.* 25, coupe horizontale d'un manomètre M, disposé pour être fixé sur un tuyau. Le petit tube *t* s'engage dans le tuyau où l'air exerce sa pression, et l'instrument est maintenu par des brides *h, h* en fer feuillard, qui enveloppent le tuyau et se réunissent par des pates à boulon.

Fig. 26, *defg*, tube de manomètre sans fût, engagé dans une plaque de dessus A A d'un régulateur. L'explication de cette figure, qui indique le jeu et l'emploi du ventimètre, se trouve dans le texte. (Voy. Section X, *Calcul des Machines soufflantes.*)

PLANCHE 29.

Régulateur à eau de l'usine de Lavoulte (Ardèche) ; échelle de $\frac{1}{50}$.

La caisse de ce régulateur est construite en grandes feuilles de tôle de 2 lignes d'épaisseur, assemblées entre elles par des clous rivés ; elle reçoit l'air lancé par les deux machines soufflantes, et sa capacité totale est d'environ douze fois la capacité utile de l'un des cylindres soufflans.

Fig. 1, vue latérale du régulateur, partie en élévation, partie en coupe.

Fig. 2, régulateur vu en dessus, le plancher qui le recouvre étant enlevé.

Fig. 3, coupe transversale suivant la ligne 1, 2 de la *fig.* 1.

R, R, caisse du régulateur, dont les côtés sont retenus par des boulons *ee, ee,* qui les empêchent de fléchir sous la pression de l'air intérieur. Des bandes en fonte à nervure *aa, fig.* 1 et 2, maintiennent les bouts de la caisse.

B B, fosse du régulateur, entourée d'un double mur, avec corroi en beton entre deux. Le fond de cette fosse se compose d'une chappe en beton Q, Q, *fig.* 1 et 3, sur laquelle on a fait un pavage M M à chaux et ciment, parfaitement rejointoyé, pour empêcher toute filtration.

L L, *fig.* 1, 2 et 3, pièces en chêne scellées profondément dans les murs de fosse.

La caisse repose sur ces pièces, et y est maintenue au moyen de pates à tenon *b, b,* assemblées à clavettes, avec des boulons à chappe *c, c.* Les *fig.* 7 et 8 représentent cet assemblage tracé sur échelle double, et font voir que les boulons *c* sont maintenus par une clavette sous chaque pièce de bois.

f, f, f, faîtière en fonte en deux parties, boulonnée sur la cime de la caisse. Cette faîtière est traversée par des boulons *d, d,* fixés à clavettes sous les pièces de bois L, L, et sert à maintenir ainsi le dessus de la caisse. Les *fig.* 12, 13 et 14, représentent une moitié de la faîtière, dont chaque partie porte une pate *h,* pour former l'assemblage. La semelle *ii, fig.* 13 et 14, est percée de trous pour pouvoir la boulonner sur la tôle, et chaque partie de la faîtière a trois renflemens *g,* dans lesquels passent les grands boulons *d, d.*

C, C, *fig.* 2 et 3, tuyaux par lesquels l'air des machines soufflantes arrive dans la caisse. A l'extrémité de ces tuyaux sont placées des boites D, D, à soupapes de retenues, afin que l'on puisse au be-

soin réparer ou démonter l'une des machines soufflantes, sans entraver le service de l'autre.

La *fig.* 4 représente une coupe des boîtes suivant l'axe du tuyau C; la *fig.* 5, une coupe par la ligne 3, 4 de la précédente figure; et la *fig.* 6 est une vue de la boîte du côté de la tubulure qui reçoit le tuyau C. La soupape S se compose d'un cuir fort placé entre deux plaques de tôle de 3 lignes d'épaisseur; elle est maintenue ouverte par une tige mobile à talon K; et lorsqu'on dégage ce talon, la soupape tombe et se ferme par la pression de l'air intérieur.

T, *fig.* 1 et 3, tuyau évasé en fonte, ou tromblon par lequel s'échappe l'air comprimé pour se rendre dans la conduite de vent EE, qui passe sous les fourneaux. Ce tromblon est soutenu à sa partie supérieure par trois arcs-boutans en fer *y*, *y*.

Lorsque les machines sont en marche, les nappes d'eau extérieure et intérieure prennent respectivement les positions *mm*, *nn*; et pour que le niveau supérieur ne puisse pas trop s'élever, un tuyau de trop-plein I, *fig.* 3, de 12 cent. de diamètre, est placé à la plus grande hauteur que ce niveau doive atteindre.

G, *fig.* 2 et 3, est un tuyau de 5 cent., par lequel on fait arriver l'eau dans la fosse.

H est le tuyau de décharge. Ce tuyau, vu en coupe et par bout, *fig.* 15 et 16, a 12 cent. de diamètre, et il est fermé au moyen d'un clapet garni de cuir *s*. On manœuvre ce clapet au moyen d'une tige ou d'une chaînette *xz*, *fig.* 3.

F, *fig.* 1, 2 et 3, tubulure en tôle servant de trou d'homme, et portant la soupape de sûreté. La *fig.* 9 indique en coupe cette tubulure et la disposition de la soupape; la *fig.* 10 est une coupe suivant 5, 6 de la précédente, et la *fig.* 11 un plan de la tubulure, la soupape étant enlevée. Cette soupape XX, *fig.* 9, est une rondelle de fonte garnie d'un cuir, et ajustée sur une tige *ll*, qui joue dans une traverse mobile *tt*. A la tige *ll* s'adapte un prolongement articulé Z, lequel est assemblé avec un levier ON, porté par le support Y. Sur le levier est un poids curseur U, au moyen duquel on exerce sur la soupape la pression nécessaire.

A, *fig.* 1 et 2, tuyau en fonte, à l'extrémité duquel est adapté un ventimètre, pour mesurer la pression de l'air dans le régulateur.

Fig. 17, élévation antérieure du ventimètre ou manomètre placé sur le tuyau A, au quart de la grandeur d'exécution. *Fig.* 18, vue de l'instrument, le tube à mercure étant découvert. *Fig.* 19, coupe horizontale. Le tube en verre *opq* est encastré dans une petite colonne en bois *uu*, *fig.* 18 et 19, et il est recouvert par une plaque vitrée *vv*, *fig.* 17 et 19. La colonne est montée à boulons, sur une rondelle en fer *zx*, qui s'adapte à la bride du tuyau A. La branche *o* du tube est seule vue lorsque la plaque vitrée est en place, et c'est le long de cette branche qu'est faite la graduation du ventimètre.

Observation. L'emploi d'un tuyau intérieur ou tromblon T, a cela de désavantageux que l'eau, en rentrant dans l'intérieur du régulateur, réjaillit jusqu'à l'entrée de ce tuyau, et s'introduit dans les conduites de vent. Aussi a-t-il fallu, à Lavoulte, changer cette disposition, et prendre le vent en dessus de la caisse.

PLANCHE 30.

Régulateurs à piston flottant de l'usine du Creusot (*Saône-et-Loire*); *échelle de* $\frac{3}{100}$.

La machine soufflante du Creusot, décrite précédemment, Pl. XXVII, est pourvue de deux régulateurs à piston flottant, de mêmes dimensions et dispositions. Ces régulateurs communiquent avec le cylindre soufflant par des tuyaux séparés, et rendent ensuite le vent dans un tuyau commun qui le conduit aux tuyères.

Fig. 1, élévation extérieure de l'un des régulateurs.

Fig. 2, plan pris au-dessus du joug de la tige du piston, ce dernier étant enlevé pour laisser voir le fond du cylindre.

Fig. 3, coupe du régulateur et de son piston par un plan diamétral, ou suivant la ligne 1, 2, *fig.* 2. Le piston est coupé suivant la ligne 7, 8 de la *fig.* 4.

Fig. 4, plan du piston vu en dessous. Les *fig.* 5 à 8 représentent divers détails sur échelle double.

AA, *fig.* 1 à 3, cylindre en fonte, alésé à l'intérieur, muni d'un fond et ouvert à sa partie supérieure.

BB, tuyau par lequel l'air arrive du cylindre à vent dans le régulateur.

CC, tuyau conduisant l'air aux tuyères.

D, tubulure servant de trou d'homme, et par laquelle on pénètre dans le cylindre pour refaire la garniture du piston.

P, piston en fonte à garniture autoclave en cuir. Sa construction est absolument la même que celle des pistons semblables de machines soufflantes, sauf qu'il n'y a de garniture qu'en dessous.

T, tige du piston; elle est en fonte et tournée bien cylindriquement.

JJ, joug en fonte dans le milieu duquel la tige vient s'assembler au moyen d'une clavette *cc* et d'une contre-clavette. Les deux extrémités de ce joug sont terminées par des douilles *mm*, dans lesquelles passent des tiges directrices. La *fig.* 5 représente l'une de ces douilles en coupe, et fait voir la garniture *n* en cuivre, dans laquelle s'opère le glissement des tiges.

La *fig.* 6 représente en élévation la douille de la tige du piston, et en coupe la forme des bras du joug.

GG, *guides* ou *tiges directrices* du joug. Ces guides sont également en fonte; ils ont une embase H qui sert à les fixer bien verticalement sur la bride supérieure du cylindre.

FF, consoles en fonte adaptées au cylindre pour supporter les guides et donner un plus large appui à leurs embases. La *fig.* 7 est une élévation latérale de l'une de ces consoles; elle indique son mode d'assemblage au cylindre et avec l'embase d'un guide. La *fig.* 8 est une coupe horizontale prise au-dessus de l'embase, indiquant en plan la forme de cette embase, ainsi que celle du dessus de la console.

E, tuyau surmonté d'une soupape de sûreté *s*. Cette soupape est reliée en *b* avec un levier brisé *ad*, dont le point fixe est en *d*. Lorsque le piston P est chassé fortement par l'air comprimé, il atteint la branche *a* du levier et fait lever la soupape. Une partie de l'air s'échappant alors, la course du piston est arrêtée, et il ne peut être projeté hors du cylindre.

Régulateur à capacité constante de l'usine de Decazeville (Aveyron), échelle de $\frac{1}{40}$. — *Fig.* 9, élévation du régulateur; *fig.* 10, coupe suivant la ligne 3, 4 de la *fig.* 9; *fig.* 11, élévation latérale du socle et d'une partie de la conduite de vent principale; *fig.* 12, coupe sur échelle double suivant la ligne 5, 6, *fig.* 11; *fig.* 13, détail, sur la même échelle, de la soupape de sûreté.

Le régulateur RR est une sphère en tôle de 2 lignes $\frac{1}{2}$ d'épaisseur, formée de zones horizontales dont chacune renferme trente-six segmens cloués à rivets, espacés de 0^{m}04 de centre en centre. Cette sphère repose sur un socle en fonte KK, auquel vient s'assembler la conduite de vent M des fourneaux. Ce socle est boulonné sur une plaque de fonte *vr*, *fig.* 12, qui est elle-même fixée solidement sur un massif de fondation. A la partie supérieure de la sphère est adaptée une soupape de sûreté S, de 0^{m}40 de diamètre, chargée de plateaux circulaires placés sur un couvercle en fonte de 0^{m}08 d'épaisseur.

L'air arrive de chaque machine soufflante, dans le régulateur, par des tubulures en fonte T, T, et s'échappe, en traversant le socle, dans la conduite de vent principale.

Au socle est pratiqué un trou d'homme L pour pénétrer, au besoin, dans le régulateur et dans la conduite de vent.

Le régulateur est composé de deux hémisphères, dont les bords se réunissent sur une bande de fer *pq*, de 13 millimètres d'épaisseur sur 80 de largeur.

La tête, qui forme la conduite principale M, a 2 lignes $\frac{1}{2}$ d'épaisseur; chaque tronçon a 0^{m}47 de largeur, et l'assemblage est fait par des rivets de 7 lignes de diamètre, espacés de 0^{m}04 de centre en centre. Les deux demi-cylindres qui forment la conduite sont également assemblés sur une bande de fer de mêmes dimensions que celle qui assemble les deux parties du régulateur.

PLANCHE 31.

Appareils à chauffer l'air avec foyers; échelle de $\frac{3}{100}$.

Appareil de Taylor. — Cet appareil est disposé pour chauffer 13 à 14 mètres cubes (environ 420 pieds cubes) d'air par minute, à la température de 300° centigrades.

Fig. 1, coupe longitudinale du four suivant la ligne 1, 2, *fig.* 2.

Fig. 2, plan pris au-dessus de la sole du four, ou suivant la ligne 3, 4, *fig.* 1.

Fig. 3, coupe verticale suivant 5, 6, *fig.* 1.

A A, A' A', gros tuyaux horizontaux, munis chacun de huit tubulures.

T, T, *fig.* 1 et 3, tuyaux courbés en demi-cercle, et terminés, de chaque bout, par une partie droite qui s'emboite dans une tubulure des tuyaux précédens.

F F, *fig.* 1 à 3, four contenant les tuyaux. Il est construit intérieurement en briques réfractaires, extérieurement en briques ordinaires, et consolidé par des montants en fonte, reliés par des boulons à leur partie supérieure.

G, *fig.* 1 à 3, grille du four; C, son cendrier.

S S, *fig.* 1 et 2, sole inclinée conduisant la flamme jusqu'au canal DD, par lequel elle se rend dans la cheminée.

H, *fig.* 1 et 2, cheminée en briques, de 9 à 10 mètres de hauteur, au-dessus

de la grille. A sa partie inférieure est une ouverture cintrée E, pour retirer les cendres entraînées dans la cheminée, et que l'on ferme par un léger briquetage.

L'air froid entre dans l'appareil par l'une des extrémités du tuyau A, traverse les tuyaux courbes T T, et sort, par un bout, du tuyau A' pour se rendre à la tuyère. Les flèches, placées sur les gros tuyaux, indiquent le sens du mouvement de l'air.

La *fig.* 4 représente, sur échelle double, une section de l'un des gros tuyaux et d'une partie de tuyau courbe.

Pour les données relatives au calcul des appareils à chauffer l'air, voy. Section XI.

Appareil de Lavoulte (*Ardèche*). — Cet appareil, établi dans le système de ceux de l'usine de Calder (Écosse), ne diffère essentiellement du précédent qu'en ce que les tuyaux courbes sont remplacés par de longs tuyaux courbes en siphons, et que le tirage s'opère par des ouvertures pratiquées dans la voûte du four.

Fig. 5, plan du four F F pris au-dessus des tuyaux horizontaux A A, A'A', ou suivant la ligne 9, 10 de la *fig.* 6.

Fig. 6, coupe verticale suivant la ligne 7, 8 de la *fig.* 5.

Fig. 7, coupe transversale suivant la ligne 11, 12 de la *fig.* 6.

Fig. 8, élévation, par derrière, d'une partie du four et de sa cheminée.

Les parties de cet appareil et de son four, analogues à celles de l'appareil précédent, sont indiquées par les mêmes lettres, et n'exigent pas une nouvelle description. On se bornera, en conséquence, à décrire ce que la construction du four a de particulier.

Le massif inférieur du four, contenant le cendrier C, la grille G et les tuyaux horizontaux A A, A' A', est armé aux quatre angles par de fortes plaques *m m*, *m m*, *fig.* 5 et 7, placées sur les grands côtés. Ces plaques sont encastrées du pied, dans la fondation du four, et retenues, à leur partie supérieure, par les armatures longitudinales *n n*.

Au-dessus de la base, le four s'élève par retraites successives, et ses parois sont traversées et retenues, dans le sens de leur longueur, par de petites bandes de fer plat *x*, *x*, *fig.* 5 à 8, fendues et repliées, sur la maçonnerie, à leurs extrémités.

Sur chaque retraite est posée une armature en fonte, *n*, *n*, à double nervure; et, d'une retraite à l'autre, les parois extérieures du four sont maintenues par des bandes de fer de 6 à 7 lignes d'épaisseur, *r*, *r*, encastrées dans la maçonnerie, et prises par les bords sous les nervures des armatures *n*, *n*. Ces dernières sont reliées deux à deux, par des boulons *l*, *l*, *fig.* 5 à 8, traversant les maçonneries des deux bouts du four.

O, O, O, *fig.* 6 et 7, sont trois ouvertures par lesquelles les produits de la combustion se rendent dans un canal commun D D, construit sur le four, et de là dans la cheminée H.

Derrière le four est un pilier en briques I, I, *fig.* 5, 6 et 8, couronné par une forte plaque de fonte *pp*; et sur cette plaque s'élèvent la base *kk* de la cheminée et la cheminée elle-même. Par cette disposition, on peut démolir le four pour changer les tuyaux sans toucher à la cheminée et sans avoir besoin de l'étayer.

La *fig.* 10 représente, à l'échelle de $\frac{1}{100}$, la disposition des appareils de Lavoulte autour des fourneaux.

aa, conduite du vent froid au sortir

du régulateur. Cette conduite est enterrée, et communique, par des embranchemens coudés, avec les tuyaux horizontaux *b*, *b*, des appareils à chauffer l'air *f*, *f*, *f*.

L'air chaud sort des appareils, par les tuyaux *c*, *c*, pour se rendre aux tuyères.

Dans les appareils placés entre le mur de soutènement et les fourneaux accolés M, M, les tuyaux *c*, *c* dégagent dans un seul tuyau *e*, au moyen d'un tuyau fourchu *d*. Ce tuyau *e*, porte, vis-à-vis des tuyères, des tubulures auxquelles s'adaptent des coudes *g*, *g*, qui conduisent l'air chaud dans les porte-vents.

Les tuyaux *d*, *e* et *g* sont placés sous le sol dans un canal de maçonnerie garni de fraisil bien battu et recouvert de terre.

Lorsque les fourneaux sont séparés, on place les appareils près des embrasures de tuyères, afin d'éviter la déperdition de chaleur et les frottemens qui auraient lieu, en employant de longues conduites pour arriver aux tuyères.

PLANCHE 32.

Appareils à chauffer l'air par le gueulard des hauts-fourneaux ; échelle de $\frac{1}{40}$.

Appareil Taylor employé pour un fourneau à coke du Staffordshire (Angleterre). — Cet appareil, représenté par les *fig.* 1 à 3, a été construit pour chauffer 45 à 50 mètres cubes d'air, par minute, à la température de 300° centigrades ; mais il est trop petit de surface, de chauffe et de section, d'où résulte qu'il n'atteint pas complétement le but qu'on s'était proposé, et qu'il absorbe beaucoup plus de force motrice, quoique la pression du vent, qui était de 13 centimètres à l'air froid, ait été réduite à 10 depuis l'emploi de l'air chaud.

On ne donne ici cet appareil que comme exemple de disposition, et l'on trouvera dans la Section XI les bases au moyen desquelles on peut rectifier ses dimensions.

Fig. 1, coupe longitudinale du four suivant la ligne 1, 2, *fig.* 2.

Fig. 2, coupe horizontale du four prise à la hauteur du dessus des murs de bataille du fourneau.

Fig. 3, coupe verticale suivant 3, 4, *fig.* 1.

A A, A' A', gros tuyaux horizontaux munis chacun de huit tubulures.

T, T, *fig.* 1 et 3, tuyaux courbés, et s'emboitant, par une partie droite, dans les tubulures des tuyaux A, A'.

F, F, *fig.* 1 à 3, four contenant les tuyaux, construit et armé de la même manière que le four de l'appareil de Taylor, déjà décrit.

P, *fig.* 1 et 2, porte de chargement du fourneau, servant aussi pour l'introduction de l'air froid destiné à achever, dans le four, la combustion des gaz fournis par le gueulard.

S, S, *fig.* 1, sole inclinée conduisant la flamme à la cheminée.

H, *fig.* 1 et 3, cheminée munie d'un registre pour régler le tirage.

C, *fig.* 2, tuyau destiné à amener l'air froid au tuyau A, duquel il se rend, en traversant les tuyaux T, dans le tuyau A'.

D, D, *fig.* 1 et 2, tuyaux destinés à conduire aux tuyères l'air chauffé. Les flèches indiquent les sens dans lesquels s'opèrent les mouvemens de l'air.

Appareil employé pour le haut-fourneau au charbon de bois de Wasseralfingen (Wurtemberg).

Cet appareil a sur celui de Taylor, que l'on vient de décrire, l'avantage très grand de pouvoir être démoli et réparé, sans interrompre la marche du fourneau. Il permet, en outre, de régler l'introduction de la flamme dans le four de chauffage, et, par suite, de modifier à volonté la température de l'air. Enfin, l'appel d'air froid nécessaire à l'achèvement de la combustion des gaz se fait beaucoup mieux dans ce système que dans le précédent, et, par suite, le tirage est aussi plus régulier et plus actif.

D'autre part, les coudes nombreux que l'air doit parcourir exigent une force motrice plus considérable. (Voy. le Texte.)

Les *fig.* 4, 5 et 6, sont à l'échelle de $\frac{1}{[illegible]}$, les autres à celle de $\frac{1}{[illegible]}$.

Fig. 4, coupe du haut-fourneau et de l'appareil de chauffage de l'air, suivant la ligne 5, 6, *fig.* 5.

Fig. 5, plan pris au-dessus du toit de l'appareil de chauffage de l'air.

Fig. 6, coupe du gueulard suivant la ligne 7, 8, *fig.* 4, et élévation de l'appareil de chauffage de l'air.

Fig. 7, coupe longitudinale suivant la ligne 9, 10, *fig.* 8. On a laissé les tuyaux, sans les couper, pour faire voir la disposition des coudes.

Fig. 8, coupe horizontale du four, suivant la ligne brisée 11, 12, *fig.* 7.

Fig. 9, coupe transversale du four, suivant la ligne 13, 14, *fig.* 7.

Fig. 10, coupe, sur une échelle double, de deux tuyaux avec leurs coudes de raccordement.

Le four contient seize tuyaux A, *fig.* 10, réunis deux à deux par un coude arrondi, et disposés, ainsi que l'indiquent les numéros depuis 1 jusqu'à 16, *fig.* 7 à 9. La *fig.* 7 indique la disposition respective des différens coudes.

v, v, fig. 10, sont des vis de pression destinées à fixer le coude dans chaque renflement. Trois coins en fer produiraient le même effet. L'espace entre le coude et le renflement est rempli avec un mastic dont la composition est indiquée dans le texte. Tous les joints des tuyaux, qui ne sont pas dans le four, sont des joints ordinaires à brides et à vis; seulement on interpose une rondelle de cuivre entre les deux brides; on la bat au marteau quand elle est serrée, et l'on recouvre encore de mastic tout le contour de la bride. Le tuyau par lequel descend l'air chaud est, en outre, entouré d'un manchon carré, en planches, suffisamment large. On remplit de fraisil l'espace compris entre le tuyau et les planches.

C, C, *fig.* 4, 5, 6, 8, tuyau destiné à amener l'air froid au four de chauffage.

D, D, *fig.* 4, 5, 6, 8, tuyau destiné à amener l'air chauffé jusqu'aux tuyères *t, t'*. Les flèches montrent le sens suivant lequel se fait le mouvement de l'air.

p, porte-vent, et *r, r'*, registres, *fig.* 4, 5. Le registre *r* étant fermé, et *r'* ouvert, l'air froid se rendra directement aux tuyères, et, au contraire, si *r'* étant fermé, *r* est ouvert, l'air froid montera au four de chauffage, et après s'être échauffé viendra alimenter le fourneau.

F, F, *fig.* 4 à 9, four de chauffage de

l'air. Le mur qui touche au gueulard et le mur opposé sont d'une seule épaisseur. Les deux murs latéraux sont doubles. Les parties intérieures portent les bouts des tuyaux ; les parties extérieures complètent la fermeture. Les espaces intermédiaires, dans lesquels se logent les coudes arrondis, sont remplis de fraisil.

H, H, *fig.* 4, 5, 6, 7, 9, cheminée munie d'un registre à bascule pour régler le tirage.

f, f, fig. 4 et 7, plaque de fonte recouverte d'une maçonnerie légère et percée d'une ouverture *l, fig.* 7, et de l'ouverture H de la cheminée. Cette plaque *ff* supporte la cheminée. L'ouverture *l* sert au nettoyage, et on la ferme pendant la marche de l'appareil.

e, e, fig. 4, 6, 7, 8, canal coudé composé de plaques de fonte, servant à l'introduction, dans le four, des gaz dégagés, par le gueulard G.

n, n, fig. 7 et 8, registres glissans destinés à régler l'introduction de la flamme dans le four. L'espace dans lequel glissent ces registres excède leur épaisseur, de manière à réserver deux ouvertures verticales, par lesquelles se fait l'appel d'air froid destiné à achever, dans le four, la combustion des gaz fournis par le gueulard.

m, m, fig. 4, 7, 8, 9, ouvertures munies de cadres de fonte et fermées par une maçonnerie légère. Ces ouvertures sont destinées au nettoyage du four et des tuyaux.

d, d, fig. 4, 7, 8, 9, plaques de fonte logées dans les parties intérieures des murs latéraux du four. C'est sur ces plaques que portent les seize tuyaux par leurs renflemens.

On trouvera dans le texte, Section XI, toutes les données relatives à l'emploi de cet appareil.

PLANCHE 33.

Appareil à torréfier le bois par la chaleur perdue du gueulard des hauts-fourneaux ; échelle de $\frac{3}{100}$.

Dans toutes les usines où l'on a adopté l'emploi du bois torréfié ou semi-carbonisé, les appareils se composent de caisses en fonte, de forme prismatique. Ces caisses sont disposées tantôt sur une seule ligne, tantôt sur deux lignes, comme l'indique la planche que l'on va décrire.

Les figures de cette planche ne représentent l'appareil d'aucune usine en particulier dans tous ses détails. On a conservé la disposition commune à tous, mais on a réuni les diverses modifications que l'expérience a successivement fait introduire.

Enfin, on a joint à l'appareil de torréfaction, d'après une disposition projetée par M. Walter, un appareil à chauffer l'air, du système de M. Philipp Taylor. Ce dernier appareil, se composant de neuf tuyaux courbes, est calculé pour chauffer 24 à 25 mètres cubes d'air, par minutes, à 300° centigrades. Cette addition ne nuit en rien à la torréfaction, vu que la chaleur produite par le gueulard d'un fourneau au charbon de bois est plus que suffisante pour les deux opérations.

Fig. 1, élévation de l'appareil, par-devant ou du côté du gueulard du haut-fourneau.

Fig. 2, élévation latérale de la moitié du four.

Fig. 3, coupe longitudinale faite par le milieu du four, ou suivant la ligne 4, 2, de la *fig.* 5.

Fig. 4, vue du four prise en dessus, et coupe des tuyaux de cheminée. Les deux caisses de la partie antérieure de la figure sont recouvertes de leurs maçonneries.

Fig. 5, coupe horizontale du four par les lignes 7, 8, *fig.* 3 et 6. Les deux caisses, situées près du gueulard du haut-fourneau, sont enlevées pour laisser voir une partie de l'appareil à chauffer l'air.

Fig. 6, coupe transversale du four et de l'appareil à chauffer l'air, suivant la ligne brisée 3, 4, 5, 6, *fig.* 5.

Les autres figures représentent divers détails des caisses en fonte.

F, F, *fig.* 3, 5 et 6, caisses de torréfaction composées de plaques de fonte. Les plaques du pourtour sont seules assemblées par des boulons; l'enveloppe, ainsi formée, repose sur la plaque de fond, et y est retenue par des nervures; la plaque de dessus est portée par des nervures intérieures *t, t,* dont sont pourvues les plaques de pourtour.

Les boulons d'assemblage ne doivent pas, autant que possible, pénétrer à l'intérieur des caisses, parce qu'ils sont promptement détruits par l'action de l'acide pyroligneux. Du reste, il serait préférable et peu difficile de couler d'une seule pièce tout le pourtour des caisses, afin d'éviter l'emploi des boulons.

Les joints des plaques sont garnis d'un mastic composé de six à sept parties de limaille fine de fonte ou de fer sur deux d'argile réfractaire, en volume, et de vinaigre ou d'acide étendu d'eau, ajouté en quantité suffisante pour former une pâte assez ferme. Le mastic ordinaire de fonte ne peut être employé.

Les fonds de caisses sont inclinés à peu près au tiers, et sont portés, d'une part, par des arceaux en briques réfractaires V V, *fig.* 3, 5 et 6, solidement construits à l'intérieur du four; d'autre part, par les parois latérales Y Y de ce four. Lorsqu'il n'y a pas d'appareil à chauffer l'air, au lieu d'arceaux, on établit des piliers en briques ou en fonte, qui portent les angles de quatre caisses contiguës.

Chaque plaque de fond est percée, à sa partie antérieure, de deux trous rectangulaires *o, o, fig.* 3, 5 et 6, ménagés pour que les flammes puissent y passer, et chauffer ainsi les plaques de devant des caisses. Pour conduire la flamme à ces trous, on réserve au-dessous de chacun, dans les parois Y Y, de petites embrasures inclinées *a, a.*

On place les caisses de manière à laisser entre elles des espaces de 12 à 13 centimètres, pour la libre circulation de la flamme; et en élevant les maçonneries, on réserve de semblables espaces au-devant des caisses, de manière que la chaleur puisse les envelopper de toute part.

M, M, *fig.* 2, 5 et 6, bouches des caisses, par lesquelles on fait sortir le bois torréfié; N, N, portes en fonte, que l'on maintient fermées au moyen de leviers *q* tournant sur un axe. Le bas de chaque porte est arrêté par une petite broche en fer qui y est fixée, et qui entre de quelques lignes dans la plaque de fond.

I, I, *fig.* 4 et 6, ouvertures et trémies de chargement des caisses. Elles sont enveloppées de maçonnerie et affleurent le comble du four. On les ferme

par un couvercle en fonte à charnière L, L, qui, lorsqu'il est ouvert, repose contre un taquet *s* fixé après la trémie.

u, u, fig. 4 et 6, trous d'évaporation, ménagés dans les plaques de dessus, pour laisser échapper les produits de la distillation du bois. Les trous de quatre caisses contiguës, *fig.* 4, sont couverts par une cloche en fonte K, surmontée de tuyaux en tôle *h, h,* que l'on nomme *Fumettes*.

n, n, fig. 3, 4 et 6, longue plaque en fonte recouvrant la séparation des deux lignes de caisses.

O, O, *fig.* 4 et 6, ouvreaux ménagés dans le briquetage formant le comble du four, par lesquels on nettoie les plaques latérales des caisses, lorsqu'il s'y est attaché des matières pulvérulentes. Ces ouvertures se ferment par quelques briques, comme l'indique la *fig.* 6.

P, *fig.* 1, 3 et 5, porte du four de l'appareil, recouvrant une partie du gueulard G du haut-fourneau. Soit pour graduer la chaleur, soit pour réparer l'appareil, on peut fermer cette porte à volonté, par un registre à coulisse *rr*, que l'on manœuvre au moyen d'une chaîne passant sur des poulies *g g'* et d'un contre-poids X. L'arceau de la porte s'avance un peu dans le four pour soutenir les fonds des premières caisses, et il est armé latéralement de plaques en fonte *m, m, fig.* 3 et 5, reliées entre elles par des boulons *b*.

La flamme du fourneau, au moyen de l'appel de la cheminée H, entre dans le four, échauffe les plaques de fond, circule ensuite tout autour des caisses, et se rend dans cette cheminée par des carneaux D, D, D, *fig.* 4 et 6, pratiqués à hauteur du sommet des dernières caisses.

La section de la cheminée, pour un grand four, doit être d'au moins $0^{mq}210$, et sa hauteur de 3^m50 à 4^m au-dessus du niveau du gueulard. Il est utile de placer un registre à chacun des carneaux, pour pouvoir diriger le tirage vers l'un ou l'autre à volonté.

C, C, *fig.* 1, 3 et 5, cheminée construite en avant de l'appareil et au-dessus du gueulard G, par laquelle s'échappent les flammes, lorsque l'appareil ne marche pas. Pour chauffer le four, on ferme cette cheminée, soit par un registre R qui, au moyen d'une clef et d'un arbre terminé par un carré extérieur Q, *fig.* 1, se manœuvre du dehors; soit par une simple plaque R', dont on couvre la cheminée, en montant sur le four. Il n'est, du reste, pas nécessaire de faire usage de ces plaques pour obliger la flamme à entrer dans le four, si le tirage de ce dernier est bien établi.

On ferme quelquefois la porte de chargement du haut-fourneau, soit avec des ventaux à gonds, soit avec un simple registre à bascule; mais alors l'air atmosphérique ne pouvant se mêler aux gaz sortant du gueulard pour en achever la combustion, la température n'est pas aussi élevée dans le four. Si l'on veut fermer habituellement la porte de chargement, il faut ménager, sous chaque caisse, dans les parois latérales du four, des soupiraux *y, fig.* 5 et 6, pour donner accès à l'air extérieur. Ces soupiraux sont munis chacun d'un petit registre vertical que l'on manœuvre au moyen d'une chaînette, et l'on peut ainsi régler à volonté la quantité d'air que l'on veut combiner aux gaz combustibles, et, par suite, la quantité de chaleur développée dans le four.

On règle d'ailleurs le tirage, avec un

registre placé sur la cheminée H, et l'on manœuvre ce registre au moyen du levier *de* et de la chaîne *ef*.

La construction du four est consolidée par des montants à nervure, en fonte, dans le genre de ceux des fours à réverbère; des boulons relient ces montants, deux à deux, par le bas et par le haut. Les boulons supérieurs traversent des passages *i*, *i*, *fig.* 3 et 19, réservés à l'intérieur des cloches K.

E, E, *fig.* 1 à 6, étouffoirs composés de plaques de fonte. Il y en a un sous la bouche de chaque four, pour recevoir, éteindre et laisser refroidir le bois torréfié. Ces étouffoirs sont munis d'un couvercle ou tampon *c* qui ferme l'ouverture supérieure, et d'une porte *p*, par laquelle on retire le combustible, pour le porter au fourneau. Ils sont élevés, à la hauteur convenable, par le petit massif BB, sur lequel ils reposent.

On enlève le couvercle *c* au moyen d'un petit levier à chariot *vx*.

ZZ, plancher ou galerie régnant des deux côtés du four, pour charger les caisses. Ce plancher ne doit pas toucher la maçonnerie du four, afin de laisser un passage à la fumée qui sort des étouffoirs, et il est bon de le faire à claire-voie, au-dessus de ces ustensiles, pour faciliter le dégagement de la fumée.

Détails à l'échelle de [illegible]. — *Fig.* 7, plaque de devant de caisse, en élévation; *fig.* 8, coupe passant par l'ouverture de la bouche du four.

Fig. 9, élévation de l'une des plaques latérales, indiquant la nervure *tt*, sur laquelle repose la plaque de dessus; *Fig.* 10, projection horizontale de cette même plaque, indiquant les brides en équerre qui servent à la boulonner avec les autres.

Fig. 11, plan d'un fond de caisse; *o*, *o*, petites ouvertures ménagées pour le passage de la flamme; *fig.* 12, coupe longitudinale de cette plaque.

Fig. 13, plan d'une plaque de dessus; I, ouverture sur laquelle repose la trémie de chargement; *u*, trou d'évaporation et de sortie des gaz de la distillation; *fig.* 14, coupe de cette plaque.

Détails à l'échelle de $\frac{1}{100}$. — *Fig.* 15; *vx*, élévation latérale du petit levier à chariot qui sert à enlever les couvercles d'étouffoirs; *fig.* 15, plan de ce levier.

Fig. 17, *kl*, élévation du grand levier à chariot, servant à enlever les portes qui ferment les bouches des caisses; *fig.* 18, élévation par-devant de ce même levier.

Fig. 19, coupe d'une cloche en fonte K par l'axe du passage *ii*. On voit que ce canal est fermé de toute part, afin que le boulon qui le traverse ne soit pas exposé à l'action corrosive des produits de la distillation du bois.

Appareil à chauffer l'air. — *Fig.* 3, 5 et 6. On a employé le système Taylor légèrement modifié. Les tuyaux horizontaux AA, A', A' sont à moitié encastrés dans la sole SS du four, et du côté du gueulard, ils sont fermés par des tampons boulonnés. Le tuyau AA, par lequel arrive l'air froid, est prolongé extérieurement par celui qui aboutit au régulateur de la machine soufflante; le tuyau A'A', dans lequel passe l'air chaud, est fermé à l'extérieur du four. L'air chauffé sort par une tubulure U, *fig.* 6, placée au milieu de l'intervalle occupé par les tuyaux courbes TT; et de là, se rend aux tuyères par des tuyaux logés sous la plate-forme du gueulard.

Les tuyaux courbes TT sont un peu plus élevés que d'ordinaire, afin d'obte-

nir plus de surface de chauffe, et plus écartés, afin que la flamme puisse passer facilement sous les fonds de caisses.

Les planches et descriptions précédentes faisant connaître avec détails les appareils à chauffer l'air, il n'est pas nécessaire d'entrer ici dans de plus longues explications.

FIN DE LA DESCRIPTION DES PLANCHES DE LA PREMIÈRE PARTIE.

TABLE DES MATIÈRES

CONTENUES

DANS LA DESCRIPTION DES PLANCHES.

PREMIÈRE PARTIE.

FABRICATION DE LA FONTE

FIN DE LA TABLE DE LA DESCRIPTION DES PLANCHES DE LA PREMIÈRE PARTIE.

MÉTALLURGIE PRATIQUE
DU FER.

DEUXIÈME PARTIE.

FABRICATION DU FER.

ERRATA

DE LA DEUXIÈME PARTIE.

Page 13, ligne 15, c'est-à-dire qu'ils; *lisez :* et.
17, ligne 19, catalans, italiens; *lisez :* catalans-italiens.
39, ligne 34, raisil; *lisez :* fraisil.
44, ligne 35, sa forme; *lisez :* la forme de la loupe.
62, ligne 13, tirandes; *lisez :* tiraudes.
75, ligne 9, *valet;* lisez : *valet, baillon.*
76, ligne 18, au tirande; *lisez :* par une tiraude.
85, ligne 5, la neuvième; *lisez :* la *N*ème.
95, *avant-dernière ligne*, à être truitée; *lisez :* à être traitée.
138, ligne 20, 1,000 kil. de houille; *lisez :* 700 à 800 kil. de houille.
139, ligne 19, avantageux; *lisez :* avantageuse.
154 à 161, à la pagination, *au lieu de* 254, 255, 256, 257, 258, 259, 260; *lisez :* 154, 155, 156, 157, 158, 159, 160.
157, ligne 8, à la tois; *lisez :* à la fois.

Au commencement de la Ire Partie se trouve une autre indication des fautes.

AVIS AU RELIEUR.

Dans un certain nombre d'exemplaires, la feuille 4 de la Description des Planches porte, à la signature, Ire Partie, quoiqu'elle appartienne à la IIe Partie. Cette feuille commence par : la précédente consiste dans la forme, etc.

MÉTALLURGIE PRATIQUE

DU FER.

DEUXIÈME PARTIE.

FABRICATION DU FER FORGÉ.

DES DIVERS MOYENS D'OBTENIR LE FER.

On obtient le fer ductile, 1°. par l'affinage immédiat de certains minerais, 2°. par l'affinage de la fonte, 3°. par l'affinage des ferrailles et des rognures.

La première méthode ne peut être appliquée avec succès qu'aux minerais riches et fusibles, tels que les fers oxidulés, oligistes, spathiques et certaines hématites rouges et brunes.

On opère au charbon de bois, soit dans de bas fourneaux à cuve que l'on nomme *stuckofen* ou fourneaux à masse, soit dans de bas fourneaux ouverts que l'on nomme feux ou foyers *à la catalane.*

Les stuckofen, quoique encore employés dans certaines usines de Styrie, de Carinthie, de Suède et de Norvège, sont généralement abandonnés, à cause de la consommation trop grande qu'ils occasionnent en minerais et combustible. Ils ne doivent donc plus être considérés comme un des moyens d'opérer de la métallurgie actuelle, et par ce motif on n'entrera dans aucun détail à leur égard.

L'affinage immédiat dans les bas fourneaux ouverts est usité dans les Pyrénées, dans l'Arriège ou ancien comté de Foix, dans les Alpes, en Dau-

phiné, en Corse, à l'île d'Elbe, et dans d'autres parties de l'Italie, ainsi que dans la Gallicie orientale. Dans les Pyrénées, ce procédé est suivi de temps immémorial, et la *méthode catalane* peut être considérée comme le type de ce mode de production du fer.

L'affinage de la fonte est le moyen le plus généralement adopté pour fabriquer le fer forgé; il est aussi le seul applicable à une grande fabrication.

L'affinage de la fonte s'opère, 1° au charbon de bois, dans de bas fourneaux ouverts qui sont des espèces de creuset que l'on nomme *feux de forges, catins, affineries, renardières*, etc. Le type de ce mode de travail est la *méthode allemande*, dont toutes les autres ne sont en quelque sorte que des variétés; 2°. à la houille dans des *fours à réverbère;* 3°. en fondant d'abord la fonte au moyen du coke, dans de bas foyers que l'on nomme *fineries*, et achevant l'opération dans des fours à réverbère chauffés à la houille. Ces deux procédés appartiennent à la *méthode anglaise*.

Dans les méthodes catalane et allemande, le fer au sortir des foyers est porté sous des marteaux pour être étiré en barres de divers échantillons. On réchauffe le fer à mesure que cela est nécessaire, au charbon de bois, dans le foyer même d'affinage, ou dans un foyer particulier que l'on nomme *chaufferie*.

Dans la méthode anglaise, l'étirage se prépare et s'achève par le moyen de cylindres munis de cannelures, ou bien on le prépare sous le marteau et on le termine entre des cylindres. Dans tous les cas, on réchauffe le fer à la houille dans des fours à réverbère.

Dans les usines de la Champagne, on suit un procédé mixte qui a reçu le nom de *méthode champenoise*. Il consiste à affiner la fonte dans des fours à réverbère chauffés à la houille, puis ensuite à étirer le fer sous des marteaux, en le réchauffant dans des chaufferies, avec le même combustible. Toutes les fontes traitées par cette méthode proviennent d'ailleurs de hauts fourneaux au charbon de bois.

Enfin on a cherché à perfectionner la méthode allemande et à accélérer ses résultats, en traitant la fonte au charbon de bois dans des feux d'affinerie, et en étirant ensuite entre des cylindres le fer préalablement réchauffé dans des fours à réverbère activés à la houille.

L'affinage de la ferraille ne peut être considéré comme un véritable affinage, puisque le fer est déjà tout formé, et il se réduit en général à une opération de soudage, à moins qu'on n'ajoute de la fonte au vieux fer. Ce genre de travail se fait soit dans des feux de forges ordinaires, soit dans des

fours, puis on procède ensuite à l'étirage, comme dans les opérations précédentes.

L'étirage tel qu'on peut le faire immédiatement après l'affinage, ne produit que des barres d'un assez fort échantillon qui sont versées dans le commerce sous le nom de *fer marchand*. Leurs dimensions sont en général trop fortes pour qu'on puisse les employer avec avantage dans un grand nombre de travaux ou de fabrications, et il faut leur faire subir de nouvelles opérations, selon qu'on veut obtenir de petits fers ronds, carrés ou en bandelettes.

On fabrique ces petits fers en les étirant, soit sous de petits marteaux que l'on nomme *martinets*, soit sous de petits *laminoirs*. Les fers plats très minces sont passés entre des cylindres unis nommés *espatards*.

On obtient encore des petits fers carrés, en divisant des barres plattes dans le sens de leur longueur, au moyen d'une *fenderie*.

Enfin on réduit le fer en *tôle*, ou en feuilles de diverses dimensions et épaisseurs, au moyen de forts cylindres unis et très durs qui portent le nom de *laminoirs à tôle*.

Tels sont les travaux qui s'exécutent dans les forges, et dont on va donner successivement la description en faisant connaître les divers moyens d'exécution et leurs résultats.

SECTION I.

AFFINAGE IMMÉDIAT DES MINERAIS
PAR LA MÉTHODE CATALANE.

DISPOSITIONS DES FORGES CATALANES.

Bien que l'affinage immédiat ne se pratique pas seulement en Catalogne, mais encore en Biscaye, dans le Guipuscoa, dans la Navarre française et espagnole, dans les Alpes, etc., on désigne en général ce mode d'opération sous le nom de *travail à la catalane*, et l'on nomme *forges catalanes* les usines dans lesquelles il s'exécute.

La composition de ces usines est très simple et peu dispendieuse. Une ma-

chine soufflante, un four de grillage pour les minerais, un foyer, un marteau et une charbonnière en sont les parties essentielles, et l'on y ajoute quelquefois un martinet.

Pour que l'usine ait une disposition commode, il faut que le foyer soit placé entre la soufflerie et le marteau, et à peu de distance de l'une et l'autre. La distance de la soufflerie au centre du foyer varie de 1^{m}50 à 2^m, et la distance de ce centre au marteau de 2 à 4^m. Il faut laisser autour du marteau un espace d'environ 2^m, pour que le marteleur puisse manœuvrer avec facilité.

La planche 1re, *deuxième partie*, et sa description font connaître en détail une disposition de forge catalane.

On fait généralement usage, dans ces forges, de machines soufflantes particulières que l'on nomme *trompes;* mais dans quelques unes on se sert aussi de soufflets en cuir. Les trompes sont pour l'ordinaire placées hors et contre le bâtiment de la forge; les soufflets sont à l'intérieur, dans un emplacement séparé.

Le four de grillage est en plein air et séparé des bâtimens. Le magasin à charbon ou charbonnière est à proximité de la forge, et disposé de manière à satisfaire autant que possible aux conditions énoncées dans la première Partie. (Première section. — Combustibles.)

L'eau est le seul moteur employé dans ces usines. On la rassemble dans un réservoir élevé, d'où elle est dirigée dans les trompes et sur les roues hydrauliques. La hauteur des chutes que l'on emploie, varie de 5 à 7^m, depuis le niveau supérieur de l'eau dans le réservoir jusqu'au-dessous de la roue, et la disposition de cette dernière est tellement imparfaite que, malgré ces chutes, on dépense jusqu'à 16 et 18 mètres cubes d'eau par minute dans les momens où le marteau doit frapper avec le plus de rapidité.

Les dimensions et la construction des roues sont presque partout les mêmes; elles sont indiquées par les Pl. I et III, et par leurs descriptions.

PRÉPARATION DES MINERAIS.

On prépare lès minerais à la réduction et à la fusion par le grillage, l'exposition à l'air ou macération, et le cassage.

Grillage.

On grille généralement les minerais dans des fourneaux, l'opération à

l'air libre exigeant trop de combustible et ne produisant pas un grillage assez uniforme.

Les fourneaux employés sont de deux sortes. Les premiers ont la forme d'un cône tronqué renversé, dont la hauteur est d'environ 3 mètres, sur 1^m40 à 1^m60 de diamètre à la base inférieure, 1^m90 à 2^m10 à l'orifice supérieure. Ils sont pourvus d'une petite embrasure, et d'un ouvreau inférieur par lequel on allume le combustible et on retire le minerai grillé.

La seconde espèce de fours est de forme quadrangulaire un peu évasée. Ils ont de 3 à 4^m de hauteur, sur 2^m de côté à la base. A leur partie inférieure est une voûte à ouvreaux d'un mètre de hauteur et débouchant au dehors, dans laquelle on place le combustible.

Le grillage dans les fours à cuve se fait ainsi qu'il suit : On établit sur le fond une couche de bois de moyenne grosseur et d'environ 0^m50 d'épaisseur, sur laquelle on met un peu de charbon ; puis on la recouvre d'une couche de minerai de 0,35 à 0,40 de hauteur. On forme sur ce minerai une seconde couche de bois de 0,30 d'épaisseur recouverte d'un peu de charbon et d'une seconde couche de minerai de même épaisseur que la couche de bois. On continue à charger ainsi jusqu'au sommet du four. Alors on allume par l'ouvreau inférieur, et l'on modère le feu en bouchant en partie cette ouverture pour que le grillage ne s'opère pas trop vite. Lorsque les charges sont affaissées et que l'opération est terminée, on retire le minerai pour recommencer une nouvelle opération.

Il serait facile de rendre le grillage continue avec ces fours, comme on l'a indiqué dans la première Partie, mais alors il faudrait les rétrécir à la base. Il résulterait de ce mode d'opérer une économie notable de combustible et de temps, et l'on pourrait y employer de plus petit bois sans aucun mélange de charbon. (*Voy.* première Partie. — Grillage.)

Dans les fourneaux voûtés, la partie supérieure est remplie de minerai en ayant soin de placer les plus gros morceaux dans le fond. On allume le feu sous la voûte qui est remplie de branchages et menus bois, et on le pousse à volonté jusqu'à ce que le grillage soit achevé. Ces fourneaux sont plus économiques que les premiers; mais avec les modifications indiquées, ceux-ci n'exigeraient pas plus de combustible, outre qu'il y aurait continuité dans l'opération, ce que ne comportent pas les fours voûtés.

Dans plusieurs usines des Pyrénées, où l'on traite des hématites brunes compactes, on ne leur fait pas subir de grillage ; mais il paraît que le fer en est moins doux, aciéreux et souvent pailleux.

Macération.

Lorsque les minerais sont purs, on les laisse seulement reposer pendant deux ou trois semaines après le grillage; mais s'ils sont pyriteux ou phosphoreux, on les laisse exposés à l'action de l'air et de l'eau pendant une année au moins avant de les employer, en ayant soin de les arroser et de les retourner souvent, pour faciliter la séparation des substances nuisibles.

Cassage.

Le cassage des minerais grillés et macérés au besoin se fait avec de petits marteaux du poids d'un demi-kilog. environ. On les divise en fragmens de la grosseur d'une noix, en évitant autant que possible de former trop de poussière parce qu'elle ne peut être utilisée. On crible les résidus de cassage et on en retire la grenaille, que l'on nomme *greillade,* pour la faire entrer dans les charges du fourneau.

DES FONDANS ET MÉLANGES DE MINERAIS.

Selon la nature des minerais traités, les fondans employés sont l'argile ou les terres argileuses, et la pierre calcaire. On suit à cet égard les règles indiquées dans la première Partie. On mélange aussi les minerais ainsi que cela se pratique pour les hauts fourneaux, et l'on obtient ainsi une fusion plus facile, et des fers de qualités meilleures et plus uniformes.

DES TROMPES. (PL. 2.)

Les trompes sont des appareils dans lesquels l'air qu'on veut recueillir est entraîné par le mouvement de l'eau, dans une caisse où s'effectue la séparation des deux fluides, et de laquelle l'air et l'eau s'échappent ensuite par des ouvertures ou des conduits séparés.

Elles se composent : d'un réservoir ou bassin supérieur R, que l'on nomme *pêchère,* Pl. 2. *fig.* 1 à 3, dans lequel afflue l'eau destinée à mettre l'appareil en jeu; d'un ou plusieurs tuyaux verticaux en bois A, que l'on nomme *arbres*, et dont la section est carrée ou circulaire, mais plus ordinairement circulaire; d'une *caisse* ou *cuve* sur laquelle repose le bout inférieur des arbres, et qui forme le réservoir d'air; d'un tuyau en bois ou en fer-blanc B, nommé *homme* ou *sentinelle,* auquel s'adapte le *burle* D. Ce dernier tuyau est pro-

longé par un conduit en cuir E, ou *bourec*, qui porte le *canon de bourec*, ou la buse par laquelle s'échappe l'air.

L'ouverture supérieure de l'arbre est rétrécie en forme de cône ou de pyramide tronquée, dont la plus petite section se nomme *étranguillon*. Immédiatement au-dessous des étranguillons, la section de l'arbre augmente, et dans cette partie sont placées quatre ouvertures *a, a,* qui donnent entrée à l'air, et qu'on nomme *aspirateurs* ou *trompillons*. Assez souvent on perce un cinquième aspirateur vers le milieu de la longueur de l'arbre.

La cuve peut avoir un fond, et alors elle porte un tuyau relevé *fig.* 1, ou une caisse à vanne, *fig.* 12 et 13, pour ne laisser échapper l'eau qu'à un niveau supérieur à l'orifice de sortie, lequel doit être au moins assez grand pour que l'eau qui s'écoule soit toujours égale à la quantité affluante; mais il est préférable d'employer une cuve sans fond, en la plaçant sur des chantiers dans un réservoir d'eau *fig.* 15, de manière qu'il y ait libre communication du dedans au dehors. On est ainsi dispensé de régler l'orifice de sortie, et l'eau affluante s'échappe toujours en quantité convenable par-dessus l'un des bords du réservoir.

Dans la cuve, vers les deux tiers de sa hauteur et sous les arbres, est placée une forte planche *t, t,* qu'on nomme *tablier* ou *banc*.

Voici le jeu des trompes. L'eau, en se précipitant dans les arbres, entraîne dans sa chute l'air qui entre par les aspirateurs. Elle vient se briser sur le tablier, se répand en pluie dans la cuve et abandonne ainsi l'air entraîné mécaniquement et une partie de celui qu'elle contient. L'eau fermant hermétiquement l'ouverture pratiquée pour sa sortie, l'air s'accumule dans la cuve, y acquiert plus de densité et y exerce une pression qui dépend de l'ouverture de la buse. En vertu de cette pression, la colonne d'eau de la cuve s'abaisse d'une certaine quantité au-dessous du niveau de l'eau extérieure, soumise seulement à la pression atmosphérique; et la différence des deux niveaux produit, du dehors au dedans, une réaction qui force l'air à s'écouler par la buse.

On voit que les cuves sont de véritables régulateurs à eau, et que, comme dans ces derniers (première Partie), la vitesse d'écoulement dépend de la différence des niveaux intérieur et extérieur, laquelle peut être déterminée par un manomètre à eau ou à mercure, placé sur la cuve ou sur l'un des tuyaux porte-vent.

Les trompes varient assez dans leur construction, dans leurs dimensions et dans leurs dispositions; celles qu'on considère comme les meilleures sous

ces divers rapports sont les trompes des Alpes, à arbres cylindriques, et à caisses sans fond. La grande trompe de Ria représentée Pl. 2, s'en rapproche beaucoup, sauf la cuve qui porte un tuyau recourbé pour la sortie de l'eau.

Voici, d'après MM. d'Aubuisson, Thibaut et Tardy, les règles à suivre dans la construction des trompes.

Placer quatre aspirateurs seulement sous l'étranguillon, les aspirateurs placés plus bas ne produisant pas d'effet utile sensible, ou laissant même échapper de l'air dans certains cas.

Etablir l'étranguillon à une distance de 0^m45 à 0^m80, au-dessous du niveau de l'eau dans le réservoir, pour que l'eau en sorte avec une vitesse de 3 à 4^m par seconde, ce qui est suffisant pour obtenir un bon effet.

Fixer le diamètre de l'étranguillon de manière que toute l'eau qu'on peut donner à la trompe, pour produire son plus grand effet, soit dépensée sous une charge de 0^m80. Ce diamètre varie ordinairement de 0^m10 à 0^m16, et il paraît préférable d'employer deux et même trois arbres que de dépasser cette dernière dimension.

Etablir le rapport d'usage de 8 à 5 entre le diamètre de l'arbre et celui de l'étranguillon. L'arbre peut être cylindrique intérieurement, mais il vaut mieux le faire conique, et lui donner en bas un diamètre égal à celui de l'étranguillon, ou un peu plus grand, pour empêcher l'air de rétrograder sous les fortes pressions.

Employer de préférence une caisse sans fond, en la posant sur des chantiers d'au moins 0^m10 de hauteur; ou si l'on fait usage d'une caisse à fond, y adapter une large ouverture à bords relevés, comme dans la petite trompe de Ria, *fig.* 12 à 14, et la placer dans le sens du tablier pour que l'eau s'y porte également et sans trop de vitesse.

Eloigner le porte-vent autant que possible du tablier, afin que l'air en sortant n'entraîne pas les gouttelettes très fines formées par le choc de l'eau sur ce tablier. Une caisse allongée favorise cette disposition.

La hauteur de chute depuis le niveau supérieur de l'eau jusqu'au-dessus du tablier, peut varier de 6^m à 8^m, sans faire varier beaucoup l'effet utile, pour une même dépense d'eau. Cependant il augmente un peu avec la hauteur. Le minimum de chute que l'on puisse employer avec avantage, est de 5^m.

Le diamètre du petit bout de la buse doit être au minimum de 0^m03 pour que l'air ne rétrograde pas sous les plus fortes pressions que l'on peut obte-

nir; on ne lui donne pas plus de 0^m04. Les tuyaux porte-vent doivent avoir un diamètre à peu près quadruple, et le moins possible de longueur et de coudes, parce qu'il en résulte un moindre produit d'air.

On ne peut dans ces machines déterminer à l'avance la quantité d'air fournie pour une dépense d'eau connue; mais on peut la calculer facilement, comme on l'a indiqué dans la première Partie (*mach. soufflantes*), lorsqu'on connaît la hauteur manométrique et la section de l'orifice de sortie.

L'expérience donne les résultats suivans pour des trompes bien construites, la hauteur de chute étant de 5 à 6^m, le diamètre des étranguillons de 0^m15 à 0^m16, et celui de la buse de 0^m037 :

Pour une même ouverture d'étranguillon, la quantité d'air obtenue augmente avec la quantité d'eau dépensée, mais dans un moindre rapport; ainsi une trompe qui produit environ 6^m cubes d'air pour une dépense de 5^m cubes d'eau, ne donne que 8^m cubes environ d'air pour une dépense de 10^m cubes d'eau; mais dans ce dernier cas la pression est plus considérable.

En moyenne, une dépense d'un mètre cube d'eau produit un mètre cube d'air.

Une trompe des dimensions ci-dessus peut produire, au maximum, 2^m50 à 3^m cubes d'air par minute et par arbre.

La hauteur du manomètre augmente à peu près proportionnellement à la dépense d'eau. Cette hauteur varie de 3 à 7 centimètres de mercure, du minimum au maximum; la première correspondant à une dépense d'eau d'environ 5^m cubes par minute, la dernière à une dépense double.

Enfin ces machines n'utilisent moyennement que les 0,12 de la force ou quantité d'action dépensée.

Les trompes ne peuvent être établies que là où il y a de grandes chutes, de l'eau en abondance, et sont, sous le rapport de l'emploi de la force, les plus mauvaises machines; mais elles ont l'avantage d'être simples, d'une construction facile et très économique, enfin d'exiger le moins de soins et d'entretien.

Quant au reproche qu'on leur fait de produire un air saturé d'eau, les expériences hygrométriques de MM. Thibaut et Tardy prouvent qu'il n'est pas fondé, et que dans les trompes où le porte-vent est placé de manière à ne pas entraîner l'eau en gouttelettes, l'air n'est pas moyennement plus humide que l'air extérieur. Il l'est un peu plus en hiver où les feux marchent très bien; et un peu moins en été où leur marche est moins avantageuse.

Les effets nuisibles, dans ce dernier cas, ne peuvent donc être attribués à la vapeur d'eau. (*Voy.* Régulateurs à eau, première Partie.)

DES FOURNEAUX. (PL. Ire.)

On distingue les fourneaux des forges catalanes en fourneaux *catalans*, *navarrais* et *biscayens*. Ils diffèrent dans leurs formes, leurs dispositions et leurs dimensions, mais sont tous composés de quatre côtés qui portent un nom particulier. Le côté par lequel arrive le vent s'appelle *varme*; celui qui lui est opposé, *contrevent*; le côté de derrière, *rustine*; celui de devant par lequel s'écoulent les laitiers, se nomme *laiterol* ou *chio*. Le fond du foyer porte le nom de *sole*. Ces fourneaux n'ont pas de cheminée.

La varme et le contrevent sont toujours revêtus de pièces ou de fortes bandes de fer; les deux autres côtés sont formés de plaques de fonte, ou simplement de pierres réfractaires. La sole est assez ordinairement formée d'une seule pierre de grès réfractaire; mais dans plusieurs usines on remplace cette pierre par une ou deux plaques de fer de 6 à 8 centimètres d'épaisseur, ce qui est préférable pour la durée.

Le fourneau catalan est le plus petit; sa forme est rectangulaire, ses côtés sont des plans, dont deux verticaux, la varme et le laiterol; la sole, ordinairement en pierre, est au niveau du sol de l'usine. On en fait usage au centre et dans la partie orientale des Pyrénées.

Les fourneaux navarrais employés dans les Basses-Pyrénées et dans la Navarre espagnole, sont plus grands que les feux catalans, et les fourneaux biscayens employés en Espagne, ont des dimensions plus grandes encore. Dans ces feux, la varme et la rustine sont planes et verticales, les autres côtés sont inclinés et le contrevent est plus ou moins arrondi dans le sens horizontal (*fig.* 7, 8 et 9). La sole est plus basse que le niveau du terrain de l'usine, et en avant du laiterol est une *cave* ou fosse pour recevoir les laitiers. Ces fourneaux étant enterrés, il est essentiel de les préserver de toute humidité, et pour atteindre complétement ce but on les place quelquefois dans un vaste bassin de cuivre très mince.

Dans tous les feux catalans, le laiterol est recouvert d'une plaque de fonte, pour appuyer les ringards dont se servent les ouvriers, et pour recevoir la loupe de fer au moment où on la retire du feu.

Ces foyers sont alimentés d'air par des soufflets ou par des trompes, mais plus généralement par ces dernières machines.

Pour introduire le vent dans le fourneau, on loge dans le mur de varme un tuyau évasé que l'on nomme *tuyère*, lequel reçoit une ou deux buses, selon la quantité de vent dont on a besoin.

Les tuyères qui ne doivent recevoir qu'une seule buse sont quelquefois coniques; mais plus habituellement elles ont une partie plane sur laquelle elles reposent, et leur section transversale est alors un demi-cercle. Celles qui doivent recevoir deux buses ont une section demi-ovale.

On nomme *pavillon*, la plus grande ouverture; *œil*, la plus petite; *plat*, la partie plane qui forme le dessous de la tuyère; et *museau* le bout de la tuyère dans lequel est l'œil, et qui s'avance toujours d'une certaine quantité dans le fourneau.

Les trompes donnant un vent continu, n'exigent qu'une seule buse, mais il en faut deux avec les soufflets que l'on emploie, et dont l'action est intermittente.

Le tableau suivant présente toutes les données nécessaires pour la construction et la disposition des divers genres de fourneaux. Toutes les mesures sont en millimètres.

DÉSIGNATION DES PARTIES.	FOURNEAU			
	CATALAN.	NAVARRAIS.	BISCAYEN.	DE RIA.
	mm.	mm.	mm.	mm.
Enfoncement de la sole du creuset au-dessous du sol.	0	230	240	0
Profondeur mesurée de la sole au-dessus du laiterol.	430 à 450	690	720	550
Longueur ou distance du laiterol à la rustine, prise... au fond du creuset...	500	640	900	700
Longueur ou distance du laiterol à la rustine, prise... au-dessus du laiterol..	580	960	1,280	750
Largeur ou distance de la varme au contrevent, prise.. au fond du creuset.....	470	530	815	600
Largeur ou distance de la varme au contrevent, prise.. au-dessus du contrevent.	610	720	845	900
Du centre du laiterol à la sole.................. (Il est placé sur la ligne milieu de la largeur.)	160	320	320	160
Cave du laiterol. Profondeur au-dessous du sol...........	0	370	370	0
Cave du laiterol. Profondeur au-dessous de la sole du creuset.	0	130	130	0
Cave du laiterol. Longueur........................	0	370	370	0
Cave du laiterol. Largeur.........................	0	290	290	0
L'axe des tuyères est placé au milieu de la largeur.				
Longueur des tuyères de trompes et de soufflets.....	650	650	650	500
Tuyères à deux vents. Largeur du pavillon ovale..........	560	560	560	»
Tuyères à deux vents. Hauteur du pavillon ovale..........	240	240	240	»
Tuyères à deux vents. Grand diamètre de l'œil ovale........	56	66	80	»
Tuyères à deux vents. Petit diamètre de l'œil ovale.........	28	34	52	»
Tuyères à un vent. Largeur du pavillon demi-circulaire....	320	320	320	270
Tuyères à un vent. Hauteur du pavillon demi-circulaire...	160	160	160	140
Tuyères à un vent. Diamètre de l'œil circulaire..........	42	50	66	44
Saillie du museau de la tuyère dans le fourneau.....	160	325	325	150
Distance du plat de la tuyère à la sole, prise contre la varme..........	335	405	460	370
Distance du plat de la tuyère à la sole, prise au bout la tuyère.........	240	325	380	325
Diamètre des buses au petit bout................	30 à 40	35 à 42	35 à 45	35 à 40
Distance du bout du canon à l'œil de la tuyère......	160	120	120	150

Toutes ces dimensions peuvent varier un peu en plus ou en moins, sans exercer d'influence sensible sur la marche des fourneaux, qui dépend surtout de l'habileté de l'ouvrier. Le fourneau de Ria, représenté Pl. 1er, *fig.* 3 à 6, bien conduit, donne de bons résultats, quoique différant beaucoup des fourneaux catalans avec lesquels il a le plus d'analogie par sa disposition. Cependant il vaut mieux, en général, suivre les dimensions indiquées pour chaque genre de fourneau, les ouvriers y étant habitués.

On estime qu'il faut, au maximum, de 7 à 8 mètres cubes d'air par minute pour alimenter un fourneau catalan, et de 8 à 10 mètres cubes pour les fourneaux navarrais et biscayens.

En Corse, en Ligurie et en Piémont, on fabrique aussi le fer directement, dans des fourneaux dont les dimensions et les dispositions diffèrent beaucoup de celles usitées dans les Pyrénées; mais les résultats qu'ils donnent sont, sous tous les rapports, bien moins avantageux; et par ce motif, il n'y a aucune utilité à s'en occuper ici.

DES MARTEAUX.

Dans les forges catalanes où l'on ne fabrique pas de fer de petit échantillon, on n'emploie qu'un marteau comme celui que représente la Pl. 3; dans celles où l'on fait des barres de petites dimensions, on se sert en outre d'un plus petit marteau que l'on nomme *martinet*.

Les uns et les autres sont montés d'une manière analogue, ainsi qu'il est expliqué par la description de la planche ci-dessus. Ils sont à *bascule*, c'est-à-dire qu'ils sont mis en mouvement par des cames qui agissent sur la *queue* du manche, c'est-à-dire sur l'extrémité opposée à la tête du marteau ou du martinet. Le mouvement de rotation s'exécute autour d'un pivot, formé par une espèce d'anneau qu'on nomme *bogue*, et qui est placé aux deux tiers de la longueur du manche, du côté de la queue.

On donne aux manches de marteaux 4^m à 4^m30 de longueur; leur diamètre moyen varie de 0^m30 à 0^m35. Ils sont ordinairement en hêtre, mais on se sert aussi de chêne. Dans tout les cas on laisse le bois en grume, c'est-à-dire sans l'équarrir, et on se borne à le dresser un peu et à enlever les nœuds protubérans.

Les marteaux se font en fonte ou en fer, et leur poids varie de 300 à 350 kilogrammes. Lorsqu'ils sont en fonte, la *panne* ou partie percutante est quelquefois en fer, et s'ajuste comme l'indique la *fig.* 6, Pl. 3.

L'enclume ou la pièce qui reçoit le choc de la panne doit être de même métal que cette dernière. Lorsqu'elle est en fer, tantôt elle est encastrée dans une pièce de fonte que l'on nomme *chabotte*, et alors son poids n'est que de 40 à 45 kil.; tantôt elle repose immédiatement sur une forte pièce de bois de bout, nommée *stoc*, comme dans les marteaux de forges à l'allemande, et dans ce cas son poids varie de 200 à 250 kil. Ces poids et cette dernière disposition s'appliquent aussi aux enclumes en fonte.

Les roues hydrauliques qui mettent les marteaux en mouvement sont toutes construites comme l'indiquent les Planches 2 et 3. Elles ont de 3m à 3m30 de diamètre extérieur, sur 0m31 de largeur, et leur vitesse est au maximum de 25 à 30 tours par minute. L'arbre porte 4 cames, en sorte que le nombre de coups de marteau est au plus de 120 par minute.

Les martinets sont montés, soit comme le marteau représenté Pl. 3, sauf que l'enclume repose sur un *stoc;* soit comme les martinets des forges à l'allemande. (Voir la description de ces derniers.)

Le manche a ordinairement 3m de longueur.

Le marteau est en fer, et pèse 75 à 80 kil.; l'enclume est aussi en fer, et pèse 50 à 60 kilo.

Les roues hydrauliques des martinets n'ont que 2m à 2m 50 de diamètre, sur 0m32 de largeur, et font 30 à 33 tours par minute. L'arbre portant 6 cames, le nombre de levées du marteau varie ainsi de 180 à 200 coups par minute.

TRAVAIL DU FER.

Le nombre d'ouvriers nécessaires pour desservir un feu catalan varie suivant sa grandeur et selon les localités. Il en faut huit au plus; un maître ouvrier nommé *foyer*, chargé spécialement de la construction et de l'arrangement du fourneau, deux *escolas* ou fondeurs; un marteleur appelé *maillet;* deux casseurs ou *piquemines*, et deux *miaillous* ou aide-fondeurs, qu'on nomme aussi *valets d'escolas*.

Dans la plupart des usines on n'emploie pas d'aide-fondeurs; de plus, dans un grand nombre de petites forges, le *foyer* est remplacé par un des fondeurs, et l'on supprime un des piquemines, en sorte que le service est fait par quatre ouvriers seulement.

Fondage. Le fourneau étant disposé, on sèche et on échauffe d'abord le creuset pendant 4 ou 5 heures en y allumant du charbon, dont on le remplit successivement jusqu'aux deux tiers environ.

Cela fait, on relève le charbon contre la varme de manière qu'il recouvre le bout de la tuyère de 25 à 30 centimètres, en formant un plan fortement incliné vers le contrevent, et on le tasse avec une pelle. On verse alors à peu près les trois quarts de la charge de minerai près du contrevent, et on l'y entasse fortement en formant un plan qui incline du côté de la varme et s'avance jusqu'aux deux tiers de la largeur du creuset, ou tout au plus jusqu'au-dessus du bout de la tuyère. On charge surtout dans la direction

du vent où a lieu la plus forte chaleur, et l'on garnit de fraisil humecté les angles opposés à la varme. Alors on remplit le fourneau de charbon jusqu'à ce qu'il soit comble; on bouche le laiterol avec de la terre ou du fraisil mouillé, et on donne le vent.

Sur la charge de charbon on jette de la *greillade*, qui entre la première en fusion, et à mesure que le charbon se consume on en ajoute de nouveau, de manière que le fourneau soit toujours comble; en même temps on ajoute successivement le reste du minerai.

Le vent, faible pendant la première demi-heure est augmenté peu à peu de manière à échauffer tout le minerai et à en opérer la réduction. Il ne doit atteindre toute sa force qu'après deux heures environ.

Pendant le travail de réduction, l'escolas arrose fréquemment le dessus du charbon pour éviter qu'il se consume inutilement et pour concentrer la chaleur; il jette par intervalle de la greillade au-dessus du bout de la tuyère; sonde le fond du creuset pour reconnaître le fer et le laitier qui se sont formés; enfonce un ringard aplati entre le contrevent et le tas de minerai pour rapprocher ce dernier du courant d'air; veille à ce que la tuyère ne s'engorge pas, et de quart d'heure en quart d'heure environ, perce le laiterol pour faire écouler le laitier lorsqu'il commence à s'élever au-dessus de l'orifice de la tuyère.

Au bout de deux heures, l'escolas pousse le travail avec activité de manière à accélérer la fusion. Il divise le minerai et le ramène sans cesse au-dessus du vent; il plonge son ringard au fond du creuset pour réunir le fer qui y est tombé et chasser le laitier, qu'il fait écouler à peu près tous les cinq minutes.

Le laitier doit toujours recouvrir le fer afin qu'il ne brûle pas, et ne doit être ni trop épais ni trop liquide. Trop épais, il empêche le fer de se réunir; trop liquide, il ne le protége pas assez contre l'action du vent. Lorsque le laitier est trop épais, l'ouvrier écarte le charbon au-dessus de la tuyère, et y projette une ou deux poignées de fondant ou de greillade. S'il est trop liquide, il ne jette pas de fondant et bouche le laiterol en tout ou en partie afin que le fer ne soit pas mis à nu. Dans tous les cas, il a soin de dégager la tuyère

Après trois heures environ, tout le minerai est fondu, l'escolas perce le charbon en différens endroits pour faire tomber le métal qu'il peut retenir, après quoi il s'occupe à former le *masset*, c'est-à-dire à rassembler de toute part le fer dans le fond du creuset, pour le souder et en faire une

espèce de boule à laquelle il donne de la consistance en la pressant avec un ringard aplati à son extrémité.

Au bout de quatre heures au plus, la fonte est finie, et l'on tire le masset. Pour cela, on le découvre en relevant à la pelle tout le charbon sur l'âtre de la rustine ou du contrevent, on y enfonce un ringard pour le soulever, on l'arrache avec une tenaille et un crochet, et on le pousse sous le marteau. Pendant ce temps on jette de l'eau en abondance soit sur le charbon, soit dans le creuset.

Aussitôt le masset enlevé, un ouvrier nettoie le fourneau, jette hors le laitier refroidi, remet dans le creuset le charbon embrasé et en ajoute de nouveau pour recommencer immédiatement le fondage comme précédemment.

Martelage ou *cinglage*. Le masset étant sous le marteau, le marteleur, au moyen de la tenaille, le présente à son action en le tournant en différens sens, et en le dressant pour faire rentrer les bavures. Le marteau frappe d'abord lentement pour rassembler le fer et en exprimer le laitier; puis on lui donne plus de vitesse pour forger le masset et lui donner la forme d'un prisme carré ayant 40 à 45 centimètres de longueur sur 12 à 15 de côté. Cela fait, on place entre le marteau et le masset un gros ciseau pour le couper en deux, et ensuite on allonge un peu les deux moitiés qui prennent le nom de *massoques*.

On les place alors au-dessus de la tuyère près de la varme, on les couvre de charbon, et on les laisse chauffer pendant un quart d'heure. On enlève ensuite celle qui est le plus près du bout de la tuyère, on la porte sous le marteau pour étirer une de ses extrémités et on la reporte sous le foyer pour chauffer l'autre. On opère de même sur la seconde massoque, puis on achève successivement l'étirage en barres.

Lorsqu'on veut fabriquer du fer de plus petit échantillon que celui qu'on peut obtenir sous le marteau, on recoupe les massoques en plusieurs morceaux qu'on nomme *massoquettes* ou *masselettes*, qui ont 15 à 20 centimètres de longueur sur environ 8 d'équarrissage, pour les étirer ensuite au martinet

Consommations et produits. La charge de minerai grillé pour une opération ou pour un feu, varie de 150 à 200 kil. dans les fourneaux catalans; de 250 à 300 dans les navarrais, et de 350 à 400 dans les biscayens.

Avec ces charges on fait six feux par 24 heures et quelquefois sept, lorsque l'ouvrier est habile.

Dans les fourneaux des Pyrénées-Orientales représentés Pl. 1re *fig.* 3 à 6, la charge de minerai est plus forte et s'élève en moyenne à 575 kil., mais alors on ne fait que quatre feux par 24 heures.

Avec les premières charges, des minerais dont la teneur à l'essai est moyennement de 36 à 37 pour 100, rendent 33 pour 100 de fer. Avec les charges de 575 kil, des minerais de même richesse ne rendent en moyenne que 31 à 32 pour 100 de fer. Les charges moindres sont donc d'un produit plus avantageux, et cela doit être, parce que l'ouvrier a plus de facilité pour faire réduire tout le minerai.

D'après ces données, les fourneaux catalans produisent 50 à 70 kil. de fer par feu; les navarrais 85 à 110; les biscayens 130 à 150, et ceux des Pyrénées-Orientales 180 à 190. Le travail ne dure que six jours par semaine.

La consommation en combustible est au plus de 3 kil. $\frac{1}{3}$ pour 1 kil. de fer. Dans beaucoup d'usines, elle n'est moyennement que de 3 kil., et d'après un relevé exact d'un roulement d'une année à la forge de Ria, cette consommation n'a été que de 2k80. Il paraitrait, d'après ce dernier résultat, que les fortes charges en minerai procurent en définitif une économie de combustible; et il est du moins certain que les trop petites charges augmentent beaucoup la consommation; car dans les fourneaux catalans, italiens, où l'on ne traite que 100 à 120 kil. au plus de minerai grillé par opération, on brûle moyennement 5k30 de charbon pour 1 kil. de fer, et jusqu'à 8k80 y compris le grillage du minerai qui se fait dans le foyer même. Il faut observer cependant que cette énorme consommation tient en partie au peu de profondeur et à la mauvaise disposition du creuset.

Nature de fer. Le fer obtenu par l'affinage immédiat des minerais est toujours de très bonne qualité, mais il est ordinairement dur et aciéreux à la surface parce que son contact avec le charbon, pendant qu'on forme le masset, lui fait subir une véritable cémentation. On obvie à cette combinaison du carbone avec le fer, en augmentant la quantité de grillade vers la fin de l'opération, de manière que le masset soit entouré de scories riches en fer, propres à le décarburer, c'est-à-dire à lui enlever le charbon qu'il contient.

Du reste, cette nature aciéreuse du fer est un avantage, lorsqu'il est destiné à la fabrication de l'acier ou à celle des instrumens d'agriculture.

Étirage au martinet. Ce travail ne diffère pas essentiellement de celui qui se pratique dans les forges à l'allemande, et dont on trouvera plus loin la description; on se bornera donc ici à en faire connaître les résultats.

Le déchet sur le fer en masselettes, pour obtenir du fer martiné et paré, varie de 7 à 8 pour 100.

La consommation en charbon est moyennement de 50 kil. pour 100 kil. de fer fini.

Deux ouvriers, un chauffeur et un martineur, fabriquent ordinairement 600 kil. de fer dans une journée de 10 heures effectives de travail.

Observations. Plusieurs essais ont été faits pour substituer le coke au charbon de bois dans les foyers catalans, mais jusqu'à présent sans succès, soit à cause de la nature de ce combustible, soit parce que les machines soufflantes sont trop faibles pour activer sa combustion.

Tout récemment, M. Richard, ingénieur civil, a essayé d'appliquer l'air chaud à l'affinage immédiat des minerais; les premières expériences, sans être encore décisives, semblent cependant promettre assez d'avantages pour engager à poursuivre les essais, dont M. Richard se propose de publier les résultats.

Il serait intéressant de reprendre les essais au coke avec l'air chaud, en faisant usage d'une forte trompe; c'est peut-être le seul moyen de tirer un parti avantageux de ce combustible dans les foyers catalans, si toutefois ses cendres n'occasionnent pas de trop forts déchets.

SECTION II.

AFFINAGE DE LA FONTE AU CHARBON DE BOIS.

DISPOSITIONS DES FORGES A L'ALLEMANDE.

On comprend, sous la dénomination de forges à l'allemande, toutes les usines dans lesquelles on fabrique le fer au charbon de bois, et au moyen de marteaux.

Quoique les procédés employés ne soient pas partout les mêmes, ces usines ne diffèrent pas essentiellement dans leur composition; mais leur disposition générale peut varier beaucoup, selon l'emplacement dont on dispose, la chute, le volume et le mode de distribution des eaux motrices.

Les dimensions des halles ou bâtimens de forges dépendent du nombre

de foyers et de machines qu'on veut y réunir; leur forme dépend surtout de la manière dont les eaux peuvent être distribuées.

Rarement on place dans une même halle plus de deux foyers ou feux, avec deux marteaux et une machine soufflante. Dans le cas où les eaux arrivent d'un seul côté de la halle, les marteaux et la machine soufflante sont placés de ce côté, et l'on donne au bâtiment la forme d'un rectangle allongé, dont les dimensions peuvent varier, de 20 à 24^m de longueur, sur 9 à 11^m en largeur. La Planche 4 offre un exemple de cette disposition.

Dans le cas où les eaux se distribuent des deux côtés de la halle, on lui donne une forme presque carrée, présentant une longueur de 14 à 16^m, sur 13 à 14^m de largeur. Les marteaux occupent alors deux angles opposés diagonalement, et les feux sont placés aux autres angles.

La machine soufflante doit être placée de manière à ne pas gêner le service de l'usine.

Lorsqu'on fait usage de soufflets, ce qui n'a plus lieu que dans les anciennes usines, chaque foyer a sa soufflerie séparée, mue par une roue hydraulique.

Chaque feu A, Pl. 4, *fig.* 2 et 4, avec ses accessoires, exige un emplacement de 2^m50 à 3^m de côté, et l'on doit laisser autour de la tête de chaque marteau un espace libre de 4 à 5^m de rayon. Dans le sens de la longueur du manche des marteaux, cet espace doit être porté jusqu'à 6^m, afin qu'on puisse manœuvrer les longues barres soumises à l'étirage.

L'eau est le moteur qui convient le mieux aux dispositions qu'exigent les forges à l'allemande, et il y est aussi le seul employé. On la réunit dans un grand bassin, d'où elle est conduite sur les roues hydrauliques par des biefs ou canaux, en bois ou en maçonnerie, couverts ou découverts, selon qu'il y a convenance ou économie.

Le devant des feux doit être garni de plaques de fonte placées sur le sol; et entre chaque feu et le marteau, on établit aussi une ligne de plaques B, B, sur lesquelles on traîne les masses de fer sortant des foyers, et que l'on nomme plaques de *traînage*.

Ordinairement les petits marteaux ou *martinets* destinés à la fabrication des fers de petit échantillon, sont placés dans une usine séparée, qui prend le nom de *martinet*, et qui renferme les foyers nécessaires avec leurs machines soufflantes. La disposition de ces usines est analogue à celle des forges; mais les martinets occupant moins d'espace que les marteaux, on établit assez souvent des batteries de deux ou trois martinets, selon leur grandeur,

sur un même arbre de roue hydraulique. L'espace nécessaire aux foyers est à peu près le même que pour les feux de forge; la distance entre deux martinets placés parallèlement l'un à côté de l'autre doit être de 3^{m} environ de manche à manche, et il faut conserver autour des marteaux le même espace libre que pour les marteaux de forge.

Dans quelques usines, on place un martinet dans la halle de forge, sur l'un des arbres qui font mouvoir les gros marteaux. Cette disposition est économique, et permet de fabriquer dans la forge même du fer de plus petit échantillon, sans employer un foyer particulier. Telle est la disposition existante dans l'une des usines de Jeand'heurs (Meuse), représentée par la Pl. 4.

La description de cette Planche indique les détails divers de la disposition de l'usine.

La charbonnière ou halle à charbon peut être contiguë à la forge; mais il est toujours préférable qu'elle en soit séparée, pour éviter les accidens, en se conformant autant que possible aux dispositions indiquées dans la première Partie (première section, Combustibles).

DES FOYERS.

Les foyers ou feux employés pour le travail du fer, dans les forges à l'allemande, sont les *renardières*, les *affineries* et les *chaufferies*.

On donne le nom de renardières aux foyers qui servent en même temps à affiner la fonte ou la gueuse, et à chauffer le fer pour l'étirer sous les marteaux; il s'applique ordinairement aux feux d'affinerie à l'allemande. Lorsqu'on affine séparément la gueuse dans un fourneau, et que l'on chauffe le fer qui en provient dans un autre fourneau, le premier se nomme affinerie, et le second chaufferie. L'emploi simultané de ces deux espèces de foyers appartient surtout à la méthode wallonne.

Tous ces foyers s'établissent sous de vastes cheminées, soutenues par un mur CC, et par de forts piliers en fonte ou en pierre D, D, comme l'indiquent les Pl. 5 et 6. Leur fondation doit être établie sur un terrain assez solide pour supporter la cheminée, à défaut de quoi il faut employer des pilotis ou un grillage.

Entre les piliers et le mur, la cheminée est élevée sur de fortes plaques en fonte H et H', que l'on nomme *marâtres*. On la construit en briques ou en pierres, en lui donnant une hauteur qui varie de 8 à 12^{m}. Il est

bon de lui donner une assez grande élévation et une largeur assez considérable, pour que les étincelles soient moins facilement entraînées par le courant d'air chaud.

L'aire des foyers, ou l'espace intérieur compris entre le mur et les piliers, ne doit pas avoir moins de 1m90 de longueur, sur 1m20 de largeur, pour que l'on puisse travailler avec facilité. Le plus ordinairement, afin d'avoir plus d'emplacement pour la fonte, le charbon, et pour le service des feux d'affinerie, on donne à l'aire de 2m à 2m30 de longueur, sur 1m60 à 2m de largeur, en sorte que la base de la cheminée est presque carrée. Pour les chaufferies, un moindre espace est nécessaire, et l'on peut sans inconvénient le réduire aux plus petites dimensions des affineries.

Dispositions et dimensions des feux d'affinerie.

Les dispositions des renardières et des affineries n'offrent pas de différence importante. Le creuset dans lequel s'opère l'affinage est placé à l'un des angles antérieurs de l'aire, et construit avec des plaques de fonte, que l'on nomme *taques*, dont une pour le fond, et quatre pour les côtés; ces plaques ont 5 à 6 centimètres d'épaisseur. Sur l'un des côtés latéraux est placée une tuyère *t*, Pl. 5, *fig.* 1 à 4, par laquelle arrive le vent nécessaire au travail.

La taque du fond *f* se nomme *fond* ou *sole;* la taque *v*, qui est au-dessous de la tuyère, s'appelle *varme;* celle qui lui est opposée, *c*, *contre-vent;* celle de devant, *l*, *laiterol* ou *chio*, et celle de derrière, *r*, *haire* ou *rustine*. Le laiterol est percé d'un ou plusieurs trous *o*, de 3 centimètres de diamètre environ, appelés aussi *chios*, pour donner issue aux scories liquides.

Sur le devant du creuset, on met une plaque *a b* pour servir d'appui aux outils, et retenir les matières qui remplissent et surmontent le creuset. On y adapte assez ordinairement une fourchette *m*, *fig.* 4, pour nettoyer les ringards qu'on a plongés dans le creuset. Cette plaque est supportée par d'autres *d*, *d*, qui maintiennent en même temps le laiterol. Une ou plusieurs plaques *q q* garnissent le devant du foyer, et se joignent aux plaques de traînage. Du côté du contre-vent sont placées des plaques ou des espèces de caisses en fonte *k*, *k*, pour recevoir le charbon. Du même côté, en dedans ou en dehors de l'aire, selon l'espace, est une bâche à eau B, B, pour rafraîchir les outils.

Dans les forges de France, le mur qui forme le côté de l'aire parallèle à la rustine est percé d'une ouverture N, par laquelle on introduit la gueuse; mais dans la majeure partie des usines d'Allemagne, la gueuse est placée vis-à-vis la tuyère, et dans la même direction, ce qui dispense du passage N, et modifie un peu la disposition du foyer, mais non celle du creuset.

Quelquefois la sole s'échauffe, rougit, et le fer s'y attache fortement. Pour obvier à cet inconvénient, on établit sous cette taque une espèce de petit bassin muré ou en fonte, dans lequel on fait arriver de l'eau par un tuyau, pour rafraîchir le fond au besoin. Cette disposition se rencontre rarement, et n'est pas nécessaire, pour peu que l'ouvrier affineur soit attentif à son travail.

Les dimensions du creuset, des renardières et affineries, diffèrent beaucoup dans les diverses localités, principalement pour la longueur, qui se mesure du laiterol à la rustine, et pour la largeur, qui se prend de la varme au contre-vent. Ces variations ne présentent aucun inconvénient, parce que l'intérieur du feu est garni de fraisil. L'essentiel est que la distance du laiterol à la rustine soit toujours plus grande que l'autre, afin de faciliter le travail.

Quant à la profondeur, qui se mesure de la sole au bord supérieur de la varme, elle dépend surtout de l'espèce de fonte à affiner, et, en général, doit être plus grande pour les fontes blanches que pour les fontes grises.

La position du fond est ordinairement horizontale; mais si la fonte est grise et difficile à convertir en fer, il est avantageux de lui donner une légère pente du contre-vent à la tuyère. Si, au contraire, la fonte se coagule avant son complet affinage, on baisse un peu la sole près du contre-vent, ainsi qu'on le pratique dans les usines de France où les feux sont montés à la champenoise. Cette dernière disposition doit, en général, être évitée, parce qu'elle nuit à l'affinage et à la qualité du fer.

Le laiterol est vertical, mais la rustine et le contre-vent penchent en dehors, afin qu'on ait plus de facilité pour faire sortir du creuset la masse de fonte affinée ou *loupe*. Cependant, dans plusieurs localités, on se contente d'incliner le contre-vent en laissant la rustine verticale.

La varme doit incliner un peu vers l'intérieur du creuset; par là, on empêche cette plaque de s'échauffer trop promptement. On porte la chaleur près du contre-vent, où l'affinage est moins prompt que du côté de la varme, et l'on active ainsi l'opération; enfin on rend plus facile la position inclinée

de la tuyère en favorisant sa stabilité, et l'on n'a pas besoin de l'avancer autant dans le creuset, ce qui gêne toujours pour le travail et pour faire sortir la loupe.

Le vent doit toujours plonger dans le creuset, ce que l'on obtient en inclinant plus ou moins la tuyère vers le fond; par là, on empêche le métal de se coaguler trop promptement. L'inclinaison de la tuyère doit être proportionnée à la profondeur du creuset, et doit être plus grande pour la fonte blanche que pour la grise.

On fait les tuyères en cuivre rouge, afin de pouvoir plus facilement augmenter ou diminuer l'ouverture, que l'on nomme *bouche* ou *œil,* par laquelle le vent s'échappe dans le creuset, et pour qu'elles résistent mieux à l'action de la chaleur. L'œil de la tuyère est demi-circulaire, et doit être plus petit pour l'affinage de la fonte blanche que pour celui de la fonte grise; sa partie inférieure est plane, afin de reposer d'une manière plus stable sur la varme.

La tuyère, étant posée sous l'inclinaison convenable à la nature de la fonte, est consolidée par des coins, et murée avec des morceaux de briques.

On se sert habituellement d'une seule buse, dont l'orifice est de même section ou d'une section un peu plus petite que celle de l'œil de la tuyère; on l'engage dans le pavillon jusqu'à 8 ou 9 centimètres en arrière de l'œil, afin que l'air rafraîchisse le museau ou la partie de la tuyère qui est dans le feu, et l'empêche de fondre. La buse et la tuyère doivent avoir le même axe, afin que le vent soit bien dirigé sur la gueuse, et ne s'éparpille pas dans le creuset. L'emploi de deux buses dans une même tuyère, ou dans deux tuyères, donne lieu à ce dernier inconvénient : aussi les essais faits avec ces dispositions n'ont-ils pas réussi.

Les feux d'affinerie des usines allemandes sont en général plus grands que ceux des usines françaises; ces plus grandes dimensions augmentent un peu la consommation de charbon, mais paraissent donner de meilleur fer, sans augmentation dans les déchets. Du reste, les dimensions adoptées présentent, dans ces deux pays, des différences assez sensibles dans toutes les parties des fourneaux, pour une même nature de fonte; ce qui semble prouver que ces dimensions, entre certaines limites, n'ont pas sur l'affinage une influence aussi grande qu'on le croit généralement.

Les plus grandes largeurs et les moindres profondeurs s'appliquent aux

fontes les plus grises; l'inverse a lieu pour les fontes blanches, et les dimensions moyennes sont employées pour les fontes truitées ou mêlées.

On a réuni dans le tableau suivant les données nécessaires à l'établissement des feux d'affinerie dans les usines allemandes et françaises. Toutes les mesures sont en millimètres.

DÉSIGNATION DES PARTIES.	FEUX D'AFFINERIE			
	ALLEMANDS.		FRANÇAIS.	
	mm.	mm.	mm.	mm.
Longueur de l'aire	1,880 à	2,100	2,000 à	2,300
Largeur de l'aire	940	1,200	1,500	2,000
Hauteur de l'aire au-dessus du sol	320	380	280	350
Longueur du feu ou creuset	750	840	600	700
Largeur du feu, au fond du creuset	630	680	480	550
Largeur du feu, en dessus du creuset	575	630	430	490
Hauteur du creuset, pour fontes grises	180	210	190	220
Hauteur du creuset, pour fontes mêlées ou truitées	210	220	230	250
Hauteur du creuset, pour fontes blanches	230	240	245	270
Pente du contre-vent sur la hauteur du creuset	40	45	30	35
Pente de la varme en dedans	50	60	45	65
Pente de la sole vers la varme pour fontes grises	25	30	15	20
Tuyères demi-circulaires, pour fontes blanches, largeur	46		42	45
Tuyères demi-circulaires, pour fontes blanches, hauteur	29		27	31
Tuyères demi-circulaires, pour fontes grises, largeur	52		45	50
Tuyères demi-circulaires, pour fontes grises, hauteur	33		31	37
Distance de la buse au bout du museau de la tuyère	65	95	70	110
Distance de la tuyère à la rustine	230	250	190	220
Saillie du museau dans le creuset	78	92	90	100
Inclinaison des tuyères, pour fonte grise	5 degrés.		5 à 6 degr.	
Inclinaison des tuyères, pour fonte mêlée	7 ½		8 à 9	
Inclinaison des tuyères, pour fonte blanche	10		11 à 12	

Ce tableau présente, en quelque sorte, un résumé numérique des principales règles à suivre pour la construction des feux; mais dans quelques cas, très rares il est vrai, ces règles admettent des exceptions. C'est ainsi que lorsqu'on affine de très bonnes fontes grises, on accélère l'opération en employant un vent rasant ou presque horizontal, avec un foyer de 18 centimètres de profondeur; que ce même vent rasant convient encore aux fontes blanches très pures, affinées dans un feu de 23 à 24 centimètres

de profondeur. Il en résulte économie de main-d'œuvre et de charbon ; mais on s'expose à avoir de mauvais fer et beaucoup de déchets, pour peu que l'affineur ne conduise pas son travail avec attention, ou que la fonte ne soit pas de la meilleure qualité.

Il est essentiel que les plaques qui forment le creuset soient assujetties très solidement entre elles, afin de ne pas se déranger pendant le travail. Celles du pourtour sont maintenues par des cales, et appuyées contre les terres ou la maçonnerie qui forment l'entourage du creuset. La plaque du fond est entourée par les autres, et placée sur une couche d'argile : on peut ainsi la hausser ou la baisser à volonté. Elle doit joindre exactement contre la varme et la rustine; sur les autres côtés, un peu de déjoint n'est pas nuisible. Toutes les fentes doivent être bien bouchées avec de l'argile.

La Pl. 5 et sa description font connaître tous les détails de construction d'un feu d'affinerie.

Dispositions et dimensions des chaufferies.

Dans les usines où l'on chauffe le fer dans un foyer séparé, après l'affinage, ce foyer ou la chaufferie n'est ordinairement qu'une espèce de renardière, comme l'indique la Pl. 6. Il diffère des affineries en ce que la profondeur du creuset reste constante; que la tuyère est à peu près horizontale, et élevée de 10 à 12 centimètres seulement au-dessus du fond du creuset. Ce dernier est toujours composé de plaques de fonte, dont la dénomination est la même que pour les affineries; on lui donne 18 à 20 centimètres de profondeur au-dessous de la plaque qui recouvre le laiterol, 60 à 70 centimètres de longueur, et 55 à 60 de largeur. La rustine et le contre-vent sont plus élevés, afin de contenir le combustible.

Les chaufferies n'ont qu'une tuyère; mais souvent on y emploie deux buses, ce qui n'offre ici aucun inconvénient, parce qu'on n'a pas pour but de porter la chaleur principalement sur un point.

Dans beaucoup d'usines, les chaufferies ont leur creuset entièrement découvert, et les masses ou lopins de fer sont placés dessus et dans le charbon. Dans d'autres, on place en travers du creuset des chenets en fer *h*, *h*, sur lesquels on place un certain nombre de lopins qui commençent à s'échauffer, pendant qu'on travaille ceux qui ont été placés dans le foyer. Cette disposition économise le combustible et accélère un peu le travail.

Les chaufferies n'ont d'utilité dans les forges à l'allemande qu'autant que

l'on y fabrique beaucoup de fers de petit échantillon; elles accompaguent ordinairement les martinets. Là où l'on ne fait que du gros fer en barres, il est beaucoup plus économique de chauffer le fer dans le feu d'affinerie même, pendant que la fonte est mise en liquéfaction.

DES MARTEAUX ET MARTINETS.

On fait usage dans les forges à l'allemande de deux espèces de machines de percussion; les *marteaux*, Pl. 7 à 9, et les martinets, Pl. 10 et 11. Les premiers servent à comprimer le fer au sortir des feux d'affinerie, et à l'étirer en gros échantillons; les seconds, beaucoup plus petits, servent uniquement à réduire le fer en *barres de petites dimensions*.

Les uns et les autres sont mis en mouvement par une roue hydraulique dont l'arbre porte une bague en fonte garnie de cames. La manière dont ces cames saisissent le manche des marteaux détermine le nom que l'on donne à ces derniers. On les nomme marteaux à *soulèvement*, lorsque les cames agissent entre le point de rotation du manche et le marteau; marteaux à *bascule*, lorsque les cames agissent sur la queue du manche.

On ne fait usage, dans les forges à l'allemande, que des marteaux à soulèvement. Ils sont soutenus par une forte charpente que l'on nomme *ordon*, dont les parties principales sont : les *jambes* J, J', qui soutiennent l'anneau à tourillons H dans lequel passe le manche, et que l'on nomme *bogue* ou *hurasse*. C'est sur les pivots de cet anneau que s'exécute le mouvement de rotation du marteau. Le *court-carreau* C, C, et la *longue attache* A, A, solidement assemblés avec la charpente inférieure, et qui reçoivent, d'une part le *drôme* D dans les entailles duquel se loge le haut des jambes; d'autre part, le *rabat* R, destiné à arrêter la levée du marteau et à le renvoyer avec force sur l'enclume E.

Dans les anciennes usines, le drôme se prolonge dans l'usine, jusqu'à 3 mètres environ de la tête du marteau, et s'appuie sur un fort poteau. Cette disposition qui avait pour but de faire peser le drôme sur le court-carreau et les jambes, afin de donner plus de solidité au système, est aujourd'hui abandonnée parce qu'elle est trop gênante, et l'on a adopté généralement l'ordon à *drôme coupé*, tel qu'il est représenté par la Pl. 7, *fig.* 1 et 2. Pour les détails de construction et de nomenclature de ces ordons, nous renvoyons aux Pl. 7 et 8, et à leurs descriptions.

La construction des ordons à drôme exige beaucoup de bois, beaucoup

d'emplacement, et ne présente pas toute la solidité désirable. En vue d'économie et d'amélioration, on a successivement fait différens essais pour changer ce système, et l'on construit aujourd'hui des ordons à jambes en fonte, qui paraissent très bien remplir le but qu'on s'est proposé. Cette nouvelle disposition a permis en outre de simplifier la charpente de fondation. Les Pl. 8 et 9, et leurs descriptions, font connaître avec détail ce genre d'ordon, qui est déjà introduit dans plusieurs usines de France.

Dans quelque système que ce soit, l'enclume doit avoir une position très solide. On la place sur un billot de 1^m80 à 2^m50 de longueur, et de 1^m à 1^m25 de diamètre. Ce billot, qu'on nomme *stoc,* doit reposer sur un terrain ferme, ou à défaut sur un bon grillage, et il est maintenu par des cadres entourés de terre bien battue ou de maçonnerie. Dans tous les cas, le stoc ne doit pas être solidaire avec la charpente de fondation, afin que le choc du marteau ne désunisse pas les assemblages.

Assez souvent on place sur le stoc une forte pièce en fonte que l'on nomme *chabotte,* et c'est dans cette chabotte que l'on place l'enclume, en l'y fixant au moyen de coins en fer. On voit des exemples de cette disposition dans les Pl. 10 et 11, relatives aux martinets.

Le marteau et l'enclume des ordons sont ordinairement en fonte, et alors on a soin de donner une espèce de trempe à la *panne* du marteau ainsi qu'à l'*aire* ou *table* de l'enclume

Ces parties, qui ont 10 à 11 centimètres de largeur sur 30 à 35 de longueur doivent être parfaitement planes et coïncider dans toute leur étendue.

Dans les forges françaises les marteaux pèsent souvent de 300 à 350 kilogrammes, et frappent de 75 à 80 coups par minute. Ce poids est trop considérable et ne doit être adopté que dans les usines où l'on n'a qu'un seul marteau pour desservir deux feux d'affinerie. Il oblige à faire confectionner dans des usines particulières des échantillons de fer que l'on pourrait fabriquer dans la grande forge, si le marteau était moins pesant. Dans les forges allemandes, les marteaux ne pèsent que de 175 à 200 kilog. et on leur fait frapper de 90 à 100 coups par minute.

La *volée* ou *levée* de nos marteaux n'excède pas ordinairement 55 centimètres, tandis qu'en Allemagne on la porte jusqu'à 70 et 75 centimètres. On regagne ainsi par la chute et la vitesse ce que l'on perd par la masse, et le travail marche avec plus de rapidité et d'économie.

Du reste le poids et la vitesse des marteaux doit varier selon la nature des fers que l'on a à travailler, et selon leur échantillon. Des fers forts exi-

gent des marteaux plus lourds que des fers tendres, et il faut donner d'autant plus de vitesse que les échantillons sont plus petits ou de moindre épaisseur, afin d'éviter des chaudes trop fréquentes.

Il est avantageux de donner beaucoup de poids aux enclumes, parce que la percussion en a plus d'effet. Ce poids doit être à peu près double de celui des marteaux, lorsqu'on ne fait pas usage de chabotte. En se servant de chabotte, il peut être à peu près le même que celui des marteaux.

Dans tous les cas, le marteau et l'enclume doivent être de même matière, afin de résister également à la percussion.

Les marteaux à soulèvement doivent être mus par cinq cames au moins, afin que la charge soit répartie plus également sur la roue hydraulique. Il est rare, du reste, qu'on en emploie un plus grand nombre. Un seul marteau peut desservir deux renardières.

Les petits marteaux que l'on nomme *martinets* ou *macas*, étant destinés à forger des fers de faibles dimensions, doivent être animés d'une grande vitesse, et par cette raison doivent être à bascule et non à soulèvement.

Leurs ordons ne se composent, pour ainsi dire, que de deux montans ou poteaux, Pl. 10, assemblés dans des semelles, et consolidés par des moises ou traverses. On doit pouvoir y fixer solidement les crapaudines, et pouvoir les changer avec facilité. On satisfait à ces conditions, soit en plaçant les crapaudines sur des cales, comme on le voit *fig.* 3, ou en les logeant dans des jambes ou leviers mobiles en fonte, *fig.* 12.

On remplace aussi les poteaux en bois par des poteaux en fonte, ou par une cage de même métal, comme l'indique la Pl. 11.

Le manche des martinets se fait en bois de hêtre ou de charme, est ajusté dans une hurasse, et a de $3^{m}30$ à 4^{m} de longueur. Pour les très petits martinets, on le confectionne quelquefois en fer forgé.

Le manche est partagé par la hurasse en deux parties, de manière que la petite branche ou queue ait au plus le tiers de la longueur totale. Souvent on ne lui donne que le quart, et lorsqu'on veut obtenir une très grande vitesse, on la reduit quelquefois au sixième de la longueur du manche. Ces dernières proportions ne se rencontrent guère que dans les martinets de platineries pour les plus petits fers.

Afin de limiter la course de la queue, ainsi que la volée du martinet, et de donner plus de force au coup, on place sous l'extrémité de la queue une espèce de ressort composé d'une pièce de bois couverte d'une plaque de fonte ou de fer.

Les marteaux sont de formes différentes, selon leur grosseur et les usages auxquels on les destine. Les plus gros peuvent être faits en fonte; les autres doivent être en fer, avec la panne aciérée. Il en est de même de l'enclume, qui presque toujours est placée dans une chabotte.

Lorsqu'on doit fabriquer dans une même usine beaucoup d'échantillons différens, tels que de petites barres plus ou moins larges, des fers ronds, demi-ronds ou profilés, on dispose les marteaux et enclumes de manière que les pannes et aires soient mobiles, et puissent être changées facilement. Dans ce cas, le marteau est ordinairement en fer, l'enclume en fonte, et la panne du marteau, ainsi que l'aire de l'enclume, sont en acier ou aciérées, et dressées à la lime, et mieux à la meule. La Pl. II représente un martinet ainsi disposé.

Les pannes de marteaux et les aires ou tables d'enclumes employées pour forger les fers plats et carrés ont ordinairement la forme rectangulaire, de 4 à 8 centimètres de largeur sur 25 à 35 de longueur. Leur longueur est placée dans le sens du manche, et on leur donne de l'inclinaison à l'arrière pour que l'ouvrier puisse présenter les barres plus facilement. Telle est la disposition représentée *fig.* 1, Pl. 10.

Dans ce cas, le marteleur est obligé de tourner autour du marteau pour présenter le fer perpendiculairement à la panne, lorsqu'il veut l'étirer. Pour obvier à cet inconvénient, on a adopté dans plusieurs usines une forme d'aire et de panne imitée des gros marteaux anglais; cette forme est celle d'une croix ou d'un T en relief, *fig.* 11, de manière que, sans changer de place, l'ouvrier peut étirer et forger le fer. Il peut alors travailler sur un banc mobile à suspension comme l'indiquent les *fig.* 11 et 12.

Les pannes et aires de martinets employés pour faire du fer crénelé, sont de forme cylindrique.

Pour faire facilement coïncider la panne avec la table, sans donner une position sensiblement oblique à la hurasse, il est bon que les tourillons de cette dernière soient assez allongés.

Le poids et la vitesse des marteaux varient suivant la grosseur des fers à étirer. Le poids diminue et la vitesse augmente à mesure que les fers sont plus petits ou plus minces.

Pour le fer martinet, rond, de 9 à 15 lignes, ou en barres plattes de 9 à 15 lignes sur 2 à 3 d'épaisseur, on emploie des marteaux de 100 à 150 kilog., et on leur imprime une vitesse de 120 à 150 coups par minute.

Le fer en bandelettes, de 7 à 8 lignes de largeur sur 2 à 2 et demi

d'épaisseur, et le fer rond ou carré, de 6 à 8 lignes, se travaillent avantageusement avec des marteaux de 75 à 80 kilog., ayant une vitesse de 200 coups par minute.

Enfin, pour les bandelettes de 5 à 6 lignes sur 2 à 2 et demie d'épaisseur, les petits fers ronds et carrés de 4 à 5 lignes, les verges crénelées, on fait usage de marteaux de 25 à 50 kilog., avec une vitesse de 250 à 300 coups par minute.

Les usines de différentes contrées, et souvent de même contrées, présentent du reste de grandes différences sous le rapport du poids et de la vitesse des marteaux employés aux mêmes usages, et, dans un très grand nombre d'usines à martinets, on ne se sert que de marteaux moyens pour toute espèce de travail. Cependant dans une usine où l'on a une batterie de deux ou trois martinets, il est toujours préférable d'avoir des marteaux de poids différens; le travail en est mieux fait, plus régulier et plus économique.

La volée ou la levée des martinets varie avec leur poids et leur vitesse; plus ils frappent vite et moins on peut leur donner de volée. Pour les marteaux animés de la plus grande vitesse, elle excède rarement 30 centimètres, et ordinairement elle est de 25 à 27 centimètres; pour les vitesses moyennes, elle varie de 32 à 40 centimètres, et on la porte jusqu'à 50 et même 55 centimètres pour les marteaux les plus lourds et qui marchent le moins vite.

Selon la vitesse de rotation de la roue hydraulique, et celle que l'on doit donner aux marteaux, le nombre de cames fixées sur la bague, varie de 8 à 32.

DES MACHINES SOUFFLANTES.

Les machines soufflantes employées dans les forges à l'allemande sont les soufflets en bois et les machines soufflantes à caisses et pistons en bois. Ces dernières machines ont aujourd'hui la préférence sur les soufflets, parce qu'elles exigent moins d'emplacement et de force motrice, qu'elles sont moins dispendieuses dans leur construction et leur entretien, qu'elles donnent plus de vent et marchent avec plus de régularité.

Nous renvoyons, pour la connaissance de ces machines et de leurs effets, à la section de la première partie de cet ouvrage, qui traite des machines soufflantes.

On n'établit ordinairement qu'une seule machine soufflante pour tous les feux d'un même atelier de forge. Chacun doit avoir alors une caisse ou

réservoir d'air, et ses porte-vent pourvus des moyens nécessaires pour modifier la force du vent ou pour l'intercepter en entier.

DE L'AFFINAGE DE LA FONTE.

La fonte est une combinaison du fer avec une certaine quantité de carbone et de flux vitreux ou laitier. Elle contient aussi quelquefois du manganèse, du phosphore et du soufre, selon la nature du minerai dont elle provient ou le procédé par lequel elle a été obtenue (1). L'objet que l'on doit se proposer dans l'affinage des fontes est donc principalement de se débarrasser de ces substances pour obtenir le fer à l'état de pureté.

Le laitier se dégage du fer, en grande partie, pendant la liquéfaction, et ensuite par la percussion ou la compression. Les autres parties étrangères ne peuvent s'en dégager qu'à la faveur d'une haute température, en se combinant soit entre elles, soit avec d'autres substances qu'on leur présente. L'art de l'affineur consiste surtout à opérer cette séparation.

Pour y parvenir, on fait usage de différens agens, savoir :

1°. *l'air atmosphérique*. On le lance dans le creuset au moyen de machines soufflantes, sous une certaine pression, et en quantités qui dépendent de la nature de la fonte à affiner et de la période du travail, ainsi qu'on le verra plus loin. Ce courant d'air effectue la séparation du carbone en le brûlant ; mais en même temps il oxide très promptement le métal, à cause de la haute température sous laquelle il faut opérer, et forme de l'oxidule de fer. Si la fonte ne contenait pas de matières étrangères, ou si l'on n'en ajoutait pas, l'oxidation deviendrait complète, et par conséquent on n'obtiendrait pas de fer.

2°. *les scories ou laitiers*. Les scories résultent de la combinaison de l'oxidule de fer avec la silice que contient la fonte, et avec le sable qui souvent la recouvre ou se trouve mêlé dans les charbons. On les distingue en deux espèces : les scories crues ou laitiers pauvres, et les scories douces ou laitiers riches.

(1) L'ancienne théorie admettait, d'après l'opinion de Monge, Vandermonde et Berthollet, que la fonte, et surtout la fonte blanche, contenait aussi de l'oxigène ; mais les analyses faites plus récemment prouvent que l'une et l'autre espèce de fonte n'en présentent pas la moindre trace (*Manuel* de Karsten, traduit par Culman, 2e édition, tome Ier, page 140). On comprend ici dans les flux vitreux la silice, qui se rencontre dans presque toutes les fontes, et surtout dans celles qui proviennent des fourneaux à coke.

Les *scories crues* ou *laitiers pauvres* se produisent pendant la fusion de la fonte, et jusqu'à ce que cette fusion soit complète; elles entraînent la plus grande partie de la silice, du phosphore et du manganèse, et ne contiennent que peu d'oxidule de fer, parce que, plus légères que le métal, elles le recouvrent et le protègent contre l'action du vent.

Ces scories sont très liquides dans le creuset, et d'une couleur rouge foncé en sortant du chio; elles se figent promptement au contact de l'air, sont d'un gris noirâtre et d'un aspect métallique après le refroidissement. Accumulées dans le creuset, elles empêchent l'affinage et peuvent nuire à la qualité du fer : on doit donc les faire écouler par la haute percée de la plaque de chio, sans toutefois trop découvrir la fonte. Quelquefois, après le premier travail, le courant d'air les chasse hors du foyer sous forme d'étincelles rouges ou bleuâtres, qui se refroidissent avant d'avoir touché terre.

Les *scories douces* ou *laitiers riches* se forment depuis le moment où le métal commence à passer à l'état de fer ductile, jusqu'à la fin de l'opération. Elles contiennent 80 à 90 pour 100 d'oxidule de fer, sont très lourdes et occupent le font du creuset, en sorte que, pour les faire écouler, il faut que la percée soit très basse. Elles s'écoulent avec lenteur, et se figent moins vite que les laitiers pauvres. Après le refroidissement, elles ont une couleur gris de fer, sont brillantes et d'un éclat demi-métallique. Pendant le travail, elles sont chassées par le vent sous forme d'étoiles blanches argentines. Étant jetées dans le feu, elles favorisent l'affinage, parce qu'une partie de l'oxidule enlève le carbone de la fonte sans attaquer le métal; de plus, le fer provenant de cet oxidule augmente le produit, ou du moins diminue les déchets dus à l'action du vent.

Les laitiers riches améliorent le fer en le rendant plus doux, et de là leur vient le nom de *scories douces*. Les laitiers pauvres agissant en sens inverse, et conservant au fer une certaine crudité, ont reçu par cette raison le nom de *scories crues*.

Il n'existe pas de limites positives entre ces deux espèces de scories; et pour juger celles qui sont le plus propres à l'affinage, le meilleur moyen est de les réduire en poussière très fine, et d'en observer la couleur. La poussière la plus noire sera la plus riche en oxidule de fer, tandis que la poussière la moins foncée en couleur indiquera la scorie la plus pauvre, et, par-là, moins propre ou même nuisible à l'affinage.

3°. *la sorne*. Elle n'est autre chose qu'une scorie douce durcie, restée

dans le foyer, et dont une partie adhère au fer affiné. Il ne faut pas la confondre avec les scories qu'on détache des plaques du creuset, et auxquelles souvent on donne improprement le nom de sorne, quoiqu'elles soient composées presque entièrement de fraisil durci et sans aucun usage. La sorne s'emploie comme les scories douces, et agit de la même manière.

4°. *Les battitures*. Cette matière se détache de la loupe pendant qu'on la cingle sous le marteau. C'est un mélange d'oxidule et d'oxide, dont l'affineur se sert pour accélérer l'affinage pendant le travail de la loupe. Ce mélange agit aussi comme les scories douces et la sorne.

5°. *La chaux*. Quoiqu'on n'emploie pas de flux ou fondans dans le travail de l'affinage, cependant la chaux peut servir utilement pour corriger les fers qui contiennent du soufre et du phosphore. Dans ce cas il faut l'ajouter immédiatement après la fusion de la fonte, en proportion qui peut varier de 2 à 10 pour 100. Son addition est encore avantageuse dans le cas où la fonte s'affine difficilement, parce qu'elle accélère sa conversion en fer ductile. Enfin la chaux améliore le fer dans beaucoup de circonstances, et ne paraît jamais nuire à sa qualité.

6°. *L'oxide de fer et l'oxide de manganèse*. Par ce qui précède, on a vu que les scories nécessaires à l'affinage sont toujours formées aux dépens du métal qu'on traite, d'où résulte que ces scories sont très chères par le déchet qu'elles occasionnent. Pour remédier à cet inconvénient on a essayé d'employer certains minerais de fer pour former les laitiers. On a trouvé que les minerais riches et surtout le peroxide de fer, jeté dans le creuset à la proportion de 6 à 8 pour 100, accéléraient l'affinage et diminuaient les déchets. L'oxide de manganèse a donné les mêmes résultats, mais il ne peut être employé avec économie que dans un petit nombre de localités.

7°. *Le sable*. Lorsque la fonte, après avoir été mise en fusion, se fige trop promptement, c'est-à-dire, avant d'avoir changé de nature, on est forcé quelquefois de dissoudre le métal avec du sable. Mais ce procédé, qui annonce toujours une mauvaise manière d'opérer, est très vicieux, parce qu'il retarde l'affinage, rend le fer plus dur et plus aigre, et augmente considérablement le déchet.

8°. *L'eau*. Le principal but que l'on se propose en projetant de l'eau sur le feu, est d'empêcher que le charbon ne se consume en pure perte à la surface. Mais cet arrosage favorise aussi l'affinage lorsqu'il s'opère trop lentement, parce qu'il oxide la surface du métal, et que l'oxide ainsi formé

étant ensuite réduit par le carbone que contient la fonte, une partie de cette dernière passe à l'état de fer ductile, en même temps que le fer de l'oxide qui a agi redevient libre. On ne doit user de ce moyen qu'avec discrétion par ce qu'il peut faire figer le métal trop promptement.

Il résulte de l'examen des divers agens qui concourent à l'affinage, que le changement de la fonte en fer ductile ne s'effectue que par l'action de l'oxidule sur le carbone contenu dans la fonte; et que le vent des machines soufflantes, quoique opérant la combustion du carbone, agit principalement pour produire la haute température nécessaire à la fusion, et pour former de l'oxidule à l'aide duquel l'opération se commence et se termine; en outre, qu'il est toujours avantageux d'introduire de l'oxidule dans le foyer, afin de diminuer la quantité de celui qui se formerait aux dépens du métal soumis à l'affinage.

Qualité des charbons.

Les charbons que l'on préfère pour l'affinage sont ceux de bois blanc et de pin Sylvestre, parce qu'on a reconnu qu'ils rendent le fer plus doux et plus tenace.

On doit éviter surtout qu'ils contiennent de la terre ou du sable, et par conséquent il faut autant que possible les rentrer par un temps sec, afin que ces matières se séparent par le transport.

Les charbons que l'on brûle dans les affineries, et particulièrement ceux de bois dur et de pin Sylvestre, ne doivent pas être trop gros, parce que le vent pénétrant par les interstices refroidirait le métal. On les casse ordinairement à la grosseur du poing ou d'un œuf. Les charbons de sapin, éclatant facilement au feu, n'ont besoin d'être cassés que lorsqu'ils sont trop gros.

Nature des fontes.

La nature des fontes exerce une très grande influence sur la durée et la marche de l'affinage. En général la fonte grise exige une plus haute température pour entrer en fusion, devient plus liquide que la fonte blanche, exige plus de temps et une action plus prolongée de l'air pour passer à l'état de fer. La fonte blanche s'oxide plus promptement, et une fois parvenue à l'état pâteux, ne demande qu'une faible influence de l'air pour acquérir de la malléabilité.

Cette différence parait surtout dépendre de l'état où se trouve le car-

bone dans la fonte. Dans la fonte blanche, il est entièrement combiné et sa proportion varie de 4,25 à 5,25 pour 100. La fonte grise au contraire ne contient que de 0,58 à 1,03 pour 100 de carbone combiné, et le surplus s'y trouve à l'état de carbone libre ou graphite, dans la proportion de 2,57 à 3,73 pour cent. Ce dernier, étant infusible, retarde la liquéfaction, et comme il faut qu'il passe à un autre état de combinaison, le changement de nature de la fonte en est retardé.

Les difficultés de traiter les fontes grises sont telles, dans certains cas, qu'on est obligé de les blanchir par une opération séparée. Cette préparation est surtout nécessaire pour la fonte grise qui sort des fourneaux à coke, et qui est plus difficile à blanchir que celle obtenue au charbon de bois. Elle est avantageuse en ce qu'elle procure un fer de meilleure qualité.

Toutes les fontes blanches ne présentent pas le même avantage au feu d'affinerie. Si elles sont impures, comme celles des fourneaux à coke ou provenant de minerais limoneux, on ne gagne rien à leur facilité de se convertir en fer, parce qu'il faut retarder ce changement pour que les matières étrangères se séparent, ce qui augmente la dépense et le déchet.

La fonte blanche grenue, toujours plus impure que les autres, est aussi dans le même cas.

La fonte blanche obtenue par surcharge de minerais est la plus pure et la plus facile à affiner. C'est le cas de la majeure partie des fontes blanches qu'on obtient dans les fourneaux au charbon de bois.

La fonte blanche lamelleuse devient très liquide, et se conduit dans les feux d'affinerie à peu près comme la fonte grise; elle ne s'affine pas, à beaucoup près, aussi vite que la fonte grenue.

La fonte boursouflée ou caverneuse, moins riche en carbone que les autres fontes blanches, et qui n'en contient que de 3,50 à 3,65 pour 100, se convertit facilement en fer, mais elle est sujette à engorger le creuset.

Les fontes truitées grises et blanches sont à peu près également difficiles à affiner, mais sont cependant celles qu'il faut produire de préférence dans les fourneaux à coke.

On désigne ordinairement sous le nom de *fontes dures*, celles qui sont longues à affiner, telles que les fontes grises, truitées grises, blanches, compactes, grenues ou lamelleuses; sous celui de *fontes demi-dures* celles qui exigent un temps moyen, telles que les fontes truitées blanches, les fontes blanches cristallines peu compactes, et les fontes au coke d'un gris clair à grains serrés. Enfin on donne le nom de *fontes tendres* à celles

qui s'affinent promptement, telles que les fontes blanches par surcharge, les fontes au coke d'un gris clair et peu compactes, les fontes caverneuses, et tous les débris de moulages, surtout lorsqu'ils ont subi une seconde fusion.

En général, pour obtenir un bon travail, le mieux est de mélanger les diverses qualités de fontes.

Dans la plupart des usines françaises on coule la fonte destinée à l'affinage en *gueuses* très longues et d'une grande épaisseur; il en résulte qu'elles sont difficiles à manier, lentes à s'échauffer et à fondre, et qu'on ne peut présenter qu'une seule pièce à l'action du vent. Il serait préférable de couler la fonte en petits saumons de 6 à 7 pieds de longueur, sur 8 à 9 pouces de largeur et 1 et $\frac{1}{2}$ à 2 d'épaisseur. On pourrait ainsi superposer des fontes d'espèces différentes, pour les affiner de la manière la plus avantageuse.

Enfin une précaution à observer, c'est que les fontes retiennent le moins de sable possible à leur surface.

Préparation des fontes.

Afin de rendre l'affinage des fontes grises plus facile et dans quelques cas plus économique, on leur fait subir diverses préparations dans le but de les faire passer à l'état de fonte blanche, et de les décarburer, c'est-à-dire de leur enlever une partie du carbone qu'elles contiennent.

Ces préparations, qui ne sont en général applicables qu'aux fontes carburées et surcarburées ou aux fontes très grises et noires, sont : le *blanchiment*, le *mazéage*, et le *grillage*.

Blanchîment. Le procédé le plus simple et le plus économique consiste à blanchir la fonte soit dans le haut-fourneau même, soit au sortir du haut-fourneau. Nous renvoyons, pour le premier de ces moyens, à la première partie de cet ouvrage (*Hauts-fourneaux*, *Conduite du travail*); quant au second, qui est usité en Suède, il se borne à arroser la fonte au sortir du fourneau, ou mieux, à l'immerger dans l'eau lorsqu'elle est assez solidifiée. La fonte devient d'autant plus blanche que le refroidissement est plus rapide, et que les minerais dont elle provient sont plus fusibles; elle conserve d'ailleurs tout son contenu de silicium et de carbone, en sorte que le blanchiment n'accélère que très peu le travail de l'affinage. Cette opération n'est applicable ni aux fontes provenant de minerais réfractaires, ni à celles produites par des minerais impurs.

Pour obtenir un blanchiment complet, il faut couler la fonte en plaques, ou en saumons plats et de peu d'épaisseur.

Dans plusieurs usines de Styrie et de Carinthie, on coule la fonte dans un bassin formé en cul-d'œuf dans le sable, près du haut-fourneau; puis, après avoir arrosé les laitiers pour les enlever, on refroidit la fonte par une affusion d'eau sur la surface encore liquide, et l'on forme ainsi successivement des plaques minces que l'on enlève au moyen de ringards et de pinces. Ce travail s'exécute avec beaucoup de rapidité; en dix minutes on peut transformer en plaques 240 à 250 kilog. de fonte. Ces plaques, qui portent le nom de *blettes*, pèsent de 10 à 20 kilog. chacune, et subissent ensuite l'opération du grillage.

On ne traite ainsi que les fontes grises provenant de minerais fusibles. Celles que donnent les minerais réfractaires ne peuvent se blanchir, et les fontes blanches ou truitées formeraient des blettes trop épaisses.

Mazéage. Lorsque les affineurs font subir à la fonte une seconde fusion, pour la convertir en blettes et la blanchir sous cette forme, cette opération se nomme *mazéage*. Elle est utile, parce qu'en refondant la fonte avant de l'affiner, on la débarrasse d'une grande partie des corps étrangers dont elle est souillée.

On distingue trois manières de faire le mazéage : la méthode Styrienne, celle de Souabe, et celle du Nivernais.

Mazéage styrien. Il s'opère dans des foyers de mazerie composés de quatre plaques de fonte, et d'un fond en pierres couvert d'une forte couche de brasque. Ces foyers, de forme presque carrée, ont de 40 à 42 centimètres de largeur, 45 à 50 de longueur, et 24 à 25 de profondeur la brasque étant faite. La tuyère est élevée de 22 à 23 centimètres au-dessus du fond, et plonge de manière que le jet d'air le frappe vers le milieu.

Le foyer étant rempli de charbon allumé, on approche la fonte vis-à-vis la tuyère, on la couvre de charbon, et l'on donne le vent en ayant soin de tenir toujours la fonte couverte de charbon à mesure que la fusion s'opère. Comme on n'a pour but que de la préparer à blanchir et non de la décarburer, on ne fait pas usage de scories douces, et on donne beaucoup de rapidité au vent, de telle sorte que la fonte reste grise après la fusion, ce qui est une condition essentielle pour qu'elle puisse se convertir en blettes.

Lorsque le creuset est plein de métal, on arrête le vent, on retire et on éteint le charbon, on enlève les laitiers à la pelle, on arrose la surface

du bain, on forme les blettes de la manière précédemment indiquée, et on les grille ensuite.

Le travail se continue nuit et jour, et pendant les 24 heures on fond ordinairement 1,500 kilog. de fonte. Une mazerie suffit pour alimenter deux foyers d'affinerie.

La condition nécessaire pour conserver à la fonte toute sa liquidité est d'employer de petits creusets, et une tuyère dont la bouche soit très étroite.

Les scories ne se formant qu'en très petite quantité, on ne les fait jamais écouler pendant la fusion, et on les conserve au contraire pour protéger la fonte contre l'action du courant d'air.

A cause de la conversion de la fonte en blettes, cette méthode ne peut s'appliquer qu'aux fontes grises.

Mazéage de Souabe. Il diffère du précédent en ce qu'on se propose non seulement de blanchir la fonte, mais encore de la décarburer en partie, et de lui faire subir ainsi un premier degré d'affinage. C'est par ce motif qu'on ajoute à la fonte une certaine quantité de scories douces.

Le creuset de la mazerie est ordinairement en maçonnerie tapissée de brasque, et la tuyère est presque horizontale. La fonte est mise en fusion avec rapidité, et cette opération terminée on laisse reposer la masse fondue pendant une demi-heure avant de l'arracher du foyer. Dès qu'elle est retirée du feu, on la brise en plusieurs morceaux, qui sont affinés ultérieurement.

On traite à la fois 150 à 200 kilog. de fonte, en variant la dose de scories selon la qualité du métal.

Cette méthode, ainsi que le mazéage styrien donnent d'excellent fer, mais consomme beaucoup de combustible, parce qu'on achève l'affinage dans d'autres foyers, et qu'on laisse refroidir la fonte mazée avant de la soumettre à cette seconde opération.

Le mazéage de Souabe a sur celui de Styrie l'avantage de s'appliquer à toute espèce de fonte, en ajoutant d'autant plus de scories que la fonte est plus grise.

Mazéage du Nivernais. Dans les départemens de la France formant l'ancienne province du Nivernais, on suit un procédé de mazéage qui tient à la fois des deux méthodes précédentes.

Les creusets de mazerie sont composés de plaques de fonte, et ont 40 à 48 centimètres de côté sur autant de profondeur. On fond le métal

comme dans le mazéage de Souabe, en le couvrant de scories douces et de battitures. La fusion étant complète, on coule la fonte sur du sable humecté, en une seule plaque de 3 à 4 centimètres d'épaisseur. Avant qu'elle soit entièrement figée, le fondeur, au moyen d'un ringard, la sillonne de lignes qui se croisent perpendiculairement, et divisent la surface de la plaque en petits compartimens rectangulaires de 15 à 16 centimètres de largeur sur 40 à 45 de longueur. Lorsque la fonte est refroidie, elle se casse facilement selon les lignes de division, et chaque compartiment produit alors une petite plaque que l'on nomme *lopin*, *mazelle*, *galette* ou *fer mazé*.

Quand la fonte n'est que légèrement carburée, on peut affiner immédiatement le fer mazé; mais si la fonte est encore grise, il faut lui faire subir l'opération du grillage comme aux blettes provenant des hauts-fourneaux ou du mazéage styrien.

Le déchet dans les mazeries varie de 5 à 7 pour 100.

Grillage. La fonte solide chauffée au rouge se décarbure lentement et sans trop d'oxidation, soit en opérant à l'air libre, soit en mettant le métal en contact avec des substances qui cèdent leur oxigène. On donne à cette opération le nom de *grillage*, et elle a pour but d'accélérer l'affinage, et de diminuer la consommation de combustible, bien qu'on n'obtienne pas toujours ce dernier résultat, surtout quand on grille en plein air.

Le grillage s'opère soit dans un fourneau, soit sur une aire préparée à cet effet, soit enfin au milieu de scories.

Les fourneaux, dont la grandeur varie selon les besoins de la fabrication, se composent d'une sole recouverte d'une voûte fermée à l'une de ses extrémités. Les côtés de cette voûte sont percés d'un certain nombre d'évents à fleur de la sole, et son dôme présente une ouverture pour le passage de la fumée et des vapeurs. A l'autre extrémité de la voûte est une porte par laquelle on fait le chargement.

On forme sur la sole une brasque en fraisil d'environ 16 centimètres d'épaisseur, dans laquelle on construit, avec du gros charbon, plusieurs canaux aboutissant aux évents, et destinés à recevoir le feu. Sur ce lit de raisil on forme, dans le sens de la longueur du fourneau, deux ou trois rangées de blettes placées de champ, et séparées les unes des autres par du fraisil. La pile ainsi formée est recouverte d'un second lit de fraisil de même épaisseur que le premier, sur lequel on établit une seconde pile,

et quelquefois une troisième séparée aussi de la précédente par une couche de fraisil.

Le chargement fini, on mure la porte, et on met le feu par les évents que l'on ferme ensuite en partie afin d'éviter la fusion des plaques, et pour que le grillage s'opère très lentement.

Après dix ou douze heures le grillage est terminé, on démolit la porte et on retire les plaques.

Dans les fourneaux de Styrie, du Tyrol et du Saltzbourg, on ne consomme moyennement que 8 à 9 kilog. de charbon pour 100 kilog. de blettes ou plaques.

Lorsque les fourneaux doivent desservir deux feux d'affinerie, il doivent avoir 2 mètres de longueur, autant de largeur et autant de hauteur sous le sommet de la voûte.

Les aires à griller sont généralement en usage dans les usines de la Styrie, de la Carinthie et de la Carniole. Elles consistent en un terrain nivelé et battu d'environ 1^m de largeur sur 2 à 3 de longueur, dans le milieu duquel est réservé un canal de 20 à 22 centimètres de largeur sur autant de profondeur. Les côtés de ce canal sont murés en pierres sèches ou maçonnées, et il est recouvert de plaques de fonte laissant entre elles des intervalles. C'est sur ces plaques qu'on dispose les blettes transversalement, en les séparant par du fraisil. Le tout est recouvert de menu charbon retenu par des plaques de fonte ou par du fraisil humecté.

On met le feu par le canal, et on y fait arriver le vent d'une machine soufflante, en le modérant assez pour que l'opération ne marche pas trop vite.

Après 12 ou 15 heures, le grillage est terminé et l'on découvre les plaques.

On grille à la fois de 1,000 à 1,500 kilog. de blettes, et la consommation de combustible varie de 15 à 20 pour 100.

Dans le Nivernais, le grillage se fait dans un trou pratiqué dans des scories. On y forme successivement une couche de charbon et une couche de mazelles, puis on couvre le tout avec des laitiers, et on met le feu. Le grillage marche d'abord lentement, et à mesure que les plaques se rapprochent de l'état de fer malléable, on augmente la température. Ce grillage se fait beaucoup moins bien que par les moyens précédens, et l'on consomme de 40 à 45 kilog. de combustible pour 100 kilog. de plaques. Aussi ce procédé dispendieux disparait-t-il peu à peu pour faire place à

d'autres modes de travail, et l'on ne grille plus, en général, que les fontes trop carburées; les autres sont affinées directement après le mazéage.

L'action du grillage bien fait, est telle que les fontes ne renferment plus que très peu de carbone, et qu'elles se changent en fer ductile avec la plus grande facilité, mais cette opération n'est guère praticable que dans les pays où le charbon est à vil prix.

Dans quelques usines de la Carinthie et du Saltzbourg, on fait subir à la fonte d'autres préparations qui consistent à la granuler ou à la pulvériser rouge encore sous des marteaux avant de la porter à l'affinage; mais ces moyens sont les plus dispendieux de tous, et la routine des ouvriers peut seule en maintenir l'usage.

Diverses méthodes d'affinage.

Il existe plusieurs méthodes d'affiner la fonte, qui, bien qu'elles diffèrent dans les moyens employés, ont néanmoins des principes communs, et dont les opérations présentent des signes à peu près identiques qui servent à en reconnaître et à en régler la marche.

Ces principes et ces signes doivent être les guides constans de l'affineur, et lorsqu'ils sont bien connus et compris, il est plus facile de saisir l'esprit de chaque méthode, presque toujours obscurci par les pratiques routinières des ouvriers, et par suite, de diriger convenablement le travail dans chaque cas.

Tout affinage se divise en deux opérations : 1°. la fusion, qui peut être faite plusieurs fois, soit dans le foyer d'affinage même, soit dans un foyer séparé; 2°. l'affinage, proprement dit, c'est-à-dire la conversion du métal en fer malléable.

La fusion a pour but principal d'épurer la fonte, et de la décarburer enpartie. Elle doit se faire rapidement et par l'action d'un vent fort, afin que le métal conserve toute sa liquidité. C'est pendant cette opération que les substances étrangères telles que le phosphore, le silicium, le manganèse et les matières impures, se séparent de la fonte en majeure partie, les premières par voie d'oxidation, les autres par différence de densité.

La fonte grise, qui tombe goutte par goutte dans le creuset, et conserve plus long-temps sa liquidité, se prête parfaitement à ce mode d'épuration; la fonte blanche, qui tombe par écailles ou par morceaux pâteux qui ne donnent pas assez de prise au courant d'air, abandonne moins de sub-

stances étrangères. Aussi les fontes grises donnent-t-elles toujours de meilleur fer que les fontes blanches provenant des mêmes minerais.

En général on ne doit pas exposer la fonte directement au courant d'air, surtout s'il est très fort, parce qu'elle conserve alors presque toute sa crudité pendant la fusion, et que restant entièrement liquide, il faut la laisser refroidir avant de commencer le travail de l'affinage. Il en résulte perte de temps, de combustible et de fonte. Il est donc préférable d'employer un vent plus faible, et de dérober la fonte à son action directe, afin qu'elle subisse un premier degré d'affinage pendant la fusion. Le premier moyen s'applique quelquefois aux fontes blanches, mais jamais il ne convient de l'employer avec les grises, déjà plus disposées à devenir liquides.

Il faut plus de vent pour la fusion des fontes blanches que pour celle des fontes grises; les premières exigent de $4^{m}90$ cub. à $5^{m}50$ cub. d'air par minute, et les secondes n'en demandent que $4^{m}50$ cub. à $4^{m}60$ cub. Si le charbon est dur il faut employer plus de vent que s'il est léger.

On laisse ordinairement fondre 100 à 150 kilog. de fonte lorsqu'on opère sur de la gueuse, et 75 à 100 kilog. lorsqu'on fait usage de plaques ou blettes.

La gueuse est placée sur des rouleaux comme l'indiquent les fig. 1, 2, Pl. 5, et on relève un peu son extrémité afin que le vent la prenne en dessous au lieu de la frapper directement. On approche la fonte grise jusqu'à $0^{m}16$ (6 pouces) de la tuyère, et la fonte blanche jusqu'à 8 ou 9 pouces seulement.

Les blettes sont disposées en trousses ou paquets de trois ou quatre, et ces trousses, retenues dans des tenailles, sont disposées de manière que la partie qui doit entrer en fusion se trouve à environ 13 centimètres au-dessus et à 10 centimètres en avant de la tuyère.

On utilise les jets de fonte, la fonte répandue et en brocaille, en les plaçant soit sur la fonte à affiner, soit immédiatement sur les charbons selon la marche du travail.

Si la fonte est disposée à devenir et à se conserver très liquide, on laisse dans le foyer toute la sorne et toutes les scories douces du précédent affinage, et on y ajoute encore tout ce qu'on ramasse autour du marteau.

Si, au contraire, le métal est disposé à *louper*, c'est-à-dire à se coaguler, on jette dans le creuset 10 à 15 kilog. de fonte en brocaille, qui, fondant rapidement, entretient la masse à l'état pâteux, et l'empêche de *changer aussi promptement de nature*, c'est-à-dire de passer aussitôt à

l'état de fer. Enfin, si ce moyen est insuffisant, on ajoute du sable, mais il faut l'éviter autant que possible, ainsi qu'on l'a dit en parlant des agens d'affinage.

Vers la fin de la fusion, l'affineur doit sonder souvent la masse fondue avec un ringard dont le bout est arrondi. Si elle est liquide et traversée sans effort, l'affinage est en retard et le métal encore à l'état de fonte; il faut alors jeter dans le foyer du laitier riche, de la sorne ou bien des battitures pour accélérer la décarburation.

Si la masse est un peu dure, après avoir toutefois traversé la surface, l'affinage est trop avancé, et il faut augmenter le vent pour ramollir le fer.

L'opération présente une bonne allure si la masse est de consistance pâteuse de manière à ce que le ringard puisse la traverser et sentir le fond du creuset; le changement de nature n'est alors ni trop avancé ni trop retardé, le travail ultérieur est facile, les déchets sont moins considérables, et l'on obtient de bon fer.

On peut aussi faire varier la marche de l'affinage par la disposition de la tuyère; ainsi, toutes choses égales d'ailleurs, on retarde le passage de la fonte à l'état de fer ductile en rapprochant la tuyère du laiterol, et on l'accélère par la disposition inverse. Le premier moyen est assez avantageux, mais le second ne doit être employé qu'avec circonspection, parce qu'il rend le travail plus difficile. Il est préférable alors d'avoir recours au moyen ordinaire, indiqué précédemment. Dans tous les cas, les variations dans la position de la tuyère ne doivent pas trop s'écarter des limites indiquées par le tableau relatif à la construction des foyers.

On retarde encore l'affinage en employant un vent faible, et en laissant le métal couvert de charbon.

Lorsque par les moyens précédens la masse fondue a été amenée à l'état de pâte épaisse ou de fer coagulé, formant ce qu'on nomme une *loupe*, un *gâteau* ou un *renard*, l'affinage, proprement dit, commence. Cette opération présente deux périodes bien distinctes : pendant la première on soulève une ou plusieurs fois la loupe avant qu'elle soit disposée à entrer en effervescence, afin d'achever sa décarburation; pendant la seconde on soulève le métal dont la conversion en fer ductile est déjà très avancée, et qui fond ensuite en bouillonnant. C'est ce qu'on appelle *avaler* la loupe.

La marche du travail se règle d'après la couleur de la flamme. Si elle est bleuâtre, la décarburation est insuffisante, et il faut encore soulever la

loupe avant de l'avaler. Une flamme blanche indique une bonne allure et un affinage assez avancé. Enfin une couleur claire jaunâtre, jointe à l'apparition d'étincelles blanches argentines, ne laisse plus de doutes sur l'inutilité d'un soulèvement ultérieur.

Le soulèvement de la loupe doit différer selon qu'on traite des fontes grises ou blanches. Dans le premier cas, on sort la loupe du bain des scories pour la ramener continuellement devant la tuyère, afin de l'oxider et de faire brûler le carbone qu'elle contient; dans le deuxième cas, on n'élève la masse que jusqu'à la surface du bain pour éviter l'oxidation, mais on mêle avec soin des scories dans la fonte pour dissoudre l'oxidule et opérer la décarburation.

Pour avaler la loupe, on la soulève au-dessus de la tuyère de manière que le vent passe en totalité par-dessous, on la retourne sens-dessus dessous et de droite à gauche pour la présenter de tous côtés au vent; puis après avoir nettoyé le creuset, on la couvre de combustible frais, et on l'arrose afin de la maintenir d'autant plus long-temps au-dessus de la tuyère que le métal a changé plus difficilement de nature. A cette époque il faut employer un vent très fort, afin de produire une température très élevée, qui mette le fer dans un état presque liquide, et le débarrasse complétement du carbone et des matières étrangères.

Pendant l'affinage il faut employer plus de vent pour la fonte blanche que pour la fonte grise, et un vent plus fort. Il faut l'augmenter graduellement jusqu'à la fin de l'opération, afin d'empêcher la masse de durcir.

Pour le travail de la loupe il faut, suivant la nature des fontes, $6^{m}20$ cub. à $6^{m}50$ cub. d'air par minute, et quand on avale, $7^{m}40$ cub. à $7^{m}70$. cub. En affinant par attachement, on en emploie quelquefois jusqu'à 12 mètres cubes.

Lorsque la loupe est avalée il faut laisser la masse en repos sur la sorne, puis diminuer le vent. Le temps de cette espèce de macération dépend de l'état du fer. Pour en juger, on plonge le bout d'un ringard dans la loupe; une couche de métal s'y attache, et forme un dé qui y adhère avec plus ou moins de force. Si ce dé tient peu à la barre après le refroidissement, on juge que l'affinage est achevé; on arrête le vent, on découvre le creuset et on retire la loupe.

Si l'opération a été bien conduite, sa forme doit être ronde, légèrement allongée, comme l'indique la *fig.* 18, Pl. 5; et sa longueur dans le sens de la largeur du creuset. Il faut qu'elle ait une couleur très blanche au

sortir du feu, que son éclat soit gras, qu'elle perde la sorne par écailles pendant le cinglage, qu'elle reçoive facilement l'impression du marteau, et ne donne pas une trop grande quantité de laitier.

Les outils nécessaires à l'affinage sont :

1°. Un grand ringard de 10 pieds de long, pour avancer la gueuse et pour soulever la loupe;

2°. Quatre ringards de 7 pieds et de moyenne grosseur, pour piquer la gueuse, détacher la sorne, et soulever les petits morceaux de fer;

3°. Un lâche-laitier à pointe arrondie, pour déboucher le chio et sonder le creuset;

4°. Quelques ringards à poignée en bois, avec lesquels on forme les loupes lorsqu'on affine par attachement;

5°. Deux pelles, dont une sert près du foyer et l'autre pour enlever les scories, pour déblayer, etc.;

6°. Un crochet pour nettoyer la tuyère;

7°. Un crochet plus fort à manche en bois, pour faire sortir la loupe du foyer;

8°. Une masse pour refouler la loupe;

9°. Un fourgon ou écoisse, pour pousser le charbon dans le foyer et l'en retirer.

La marche générale à suivre dans l'affinage et les précautions à prendre étant bien conçues, il suffira maintenant d'exposer brièvement les diverses méthodes suivies, lesquelles ne diffèrent entre elles qu'à raison de la nature des fontes, de leurs préparations préalables et du nombre des foyers employés.

La préparation du foyer est à peu de chose près la même, quelle que soit la méthode suivie. Après avoir nettoyé le creuset et rafraîchi le fond, s'il est nécessaire, on brasque tout son pourtour avec du fraisil et du menu charbon humectés et bien battus; on couvre ensuite le fond de menus charbons provenant du précédent affinage. Par ce moyen on rétrécit le foyer, on concentre la chaleur, et on économise du combustible. On emplit le foyer de gros charbon qu'on allume, et l'on fait jouer les machines soufflantes. Il faut avoir soin d'arroser continuellement le fraisil pour que le vent ne l'enlève pas, et de répéter cette opération pendant la fusion et l'affinage.

On peut classer les principales méthodes d'affinage ainsi qu'il suit :

1°. Méthode allemande, ou affinage à plusieurs fusions, en employant le même foyer pour l'étirage;

2°. Méthode suédoise, à deux fusions, en faisant usage d'un feu séparé pour l'étirage;

3°. Méthode française ou wallonne, à une seule fusion, avec feu séparé pour l'étirage;

4°. Méthode styrienne, à une seule fusion, employant un seul foyer, mais la fonte ayant reçu une préparation préalable;

5°. Affinage de Siegen;

6°. Affinage par attachement.

On pourrait ajouter à cette nomenclature la méthode bergamasque, l'affinage successif ou par lopins, et l'affinage dans des feux de brasque; mais ces procédés sont tellement dispendieux, et si variables dans leurs résultats, que l'on ne doit plus les considérer que comme des méthodes arriérées, et impraticables aujourd'hui que l'économie est la première condition de toute fabrication.

Méthode allemande. Cette méthode s'applique surtout à des fontes très grises, dont le carbone ne pourrait être brûlé en une seule opération. L'affinage se fait à trois fusions dans quelques usines, à deux seulement dans d'autres, et l'on n'opère que sur de la fonte en gueuse.

Après avoir présenté la gueuse devant la tuyère, et en avoir fondu 100 à 150 kil., on laisse reposer le métal en bain, et l'on fait écouler la presque totalité des scories crues. On procède ensuite au premier soulèvement, par lequel la masse se divise ordinairement en plusieurs morceaux. L'affineur les retire du feu, vide le creuset, y verse une rasse de charbon, puis y replace les morceaux de manière que les moins affinés, s'il y en a, soient plus près de la tuyère; il ajoute au besoin des battitures, évite que le charbon s'interpose entre les morceaux, parce qu'il retarderait l'affinage, et laisse fondre une seconde fois. La masse fondue repose en bain comme précédemment, et se trouve ordinairement assez débarrassée de carbone pour se coaguler. L'affineur la soulève de nouveau, fait glisser par-dessous les charbons incandescens, afin d'éviter tout refroidissement, ajoute du charbon frais, et laisse descendre la loupe. Il a soin d'arroser et de comprimer le charbon, pour concentrer la chaleur. Après la seconde, ou au plus après la troisième fusion, le fer est entièrement affiné; et après avoir *avalé* la loupe, ainsi qu'on l'a expliqué précédemment, il la retire du foyer.

Dans cette méthode, on étire le fer pendant la fusion de la fonte, ce qui oblige quelquefois à la prolonger. Il en résulte une plus grande consommation de charbon, mais on obtient un fer de très bonne qualité.

La méthode allemande s'applique aussi à des fontes blanches très pures, et passant facilement à l'état de fer ductile. On ne soulève alors la masse que pour avaler la loupe : à cet effet, on retire d'abord le charbon, on arrête le vent, on arrose le métal pour le rafraichir, on le soulève et on le renverse sur du charbon frais, pour le refondre et le faire bouillonner. Ce procédé a reçu le nom d'*affinage par masse,* parce que la loupe ne peut se diviser en morceaux comme dans la méthode allemande pure. Il est employé dans quelques parties de la Suède.

Méthode suédoise ou *demi-wallonne,* usitée en suède, et en France, où on l'appelle *méthode du Berry.* Les affineurs qui se servent de ce procédé n'emploient qu'une fonte truitée ou mêlée, et très pure. On fond et on refond la fonte sans rafraichir le métal demi-affiné. La loupe étant sortie du feu, on la cingle et on la divise en quatre ou cinq lopins, qu'on étire dans des feux de chaufferie particuliers.

Méthode française ou *wallonne,* employée dans une grande partie de la France, dans les Pays-Bas, surtout aux environs de Liége, dans l'Eiffel et sur la Lahn. On traite par cette méthode de la fonte blanche de bonne qualité, dont on brûle le carbone le plus possible pendant la fusion, qui n'a lieu qu'une fois; puis on avale la loupe, dont le poids est ordinairement de 25 à 30 kil. Cette dernière, après avoir été cinglée sous le marteau, est portée dans une chaufferie pour l'étirage.

Ce travail marche très rapidement : une loupe de 30 kil. est faite en une demi-heure; et lorsqu'on fait des loupes de 80 à 100 kil., comme dans les Pays-Bas, elles n'exigent pas plus de 45 à 50 minutes; mais il n'y a pas grand avantage à faire d'aussi fortes loupes, parce que la durée de l'étirage ne concorde plus avec celle de l'affinage, comme dans le premier cas.

Méthode styrienne. On doit comprendre sous cette dénomination les méthodes dans lesquelles on n'affine que des blettes blanchies ou grillées, provenant soit du haut-fourneau, soit du mazéage. Cette fonte ainsi préparée, passant très vite à l'état de fer ductile, en la faisant fondre doucement avec de la sorne et des battitures, on n'a pas besoin de soulever la loupe ni de l'avaler. Pour décarburer la fonte, on donne à la tuyère une forte inclinaison, qui va souvent jusqu'à 25 et 30 degrés.

Le creuset dans lequel on opère est ordinairement construit en maçon-

nerie, et quelquefois avec des plaques de fonte. On lui donne $0^{m}78$ de longueur, $0^{m}62$ de largeur et $0^{m}52$ de profondeur; mais au moyen de la brasque en fraisil, il ne reste qu'un creux de $0^{m}30$ à $0^{m}36$ de diamètre, et de $0^{m}20$ à $0^{m}23$ de profondeur.

Le creuset étant préparé, on commence par chauffer et forger la moitié environ des lopins du précédent affinage; on présente alors les blettes, et l'on en fait fondre assez pour produire une loupe de 75 à 100 kil. Pendant la fusion, on achève de forger le reste des lopins. Dès que la fusion est terminée, la loupe l'est aussi : on l'enlève, on la cingle et on la coupe en lopins; ceux-ci sont portés aussitôt au feu, qui a été nettoyé pendant le travail sous le marteau.

On jette des battitures sur les lopins pendant la chauffe, afin d'achever leur décarburation, et pour déterminer celle de la masse mise en fusion pour l'affinage suivant.

Les laitiers qui se forment pendant la fusion restent dans le creuset, et servent à absorber le carbone de la fonte.

Affinage de Siegen. Cette méthode a beaucoup d'analogie avec la styrienne, et, comme dans celle-ci, on traite une fonte très facile à convertir en fer, qui permet de faire la loupe sans la soulever et sans l'avaler. Cette fonte provient de minerais manganésifères, que l'on fond dans des fourneaux très bas et à un faible degré de chaleur : d'où résulte qu'elle contient très peu de silicium, et, par cette raison, s'affine avec promptitude. On la coule en gueuse, et elle ne subit aucune préparation. On préfère la fonte truitée ou mêlée; la fonte blanche donne un fer trop dur; la fonte grise prolonge trop l'opération.

On approche la gueuse à 23 centimètres de la tuyère, et on la place un peu au-dessus du courant d'air qui vient frapper la plaque du fond vers le milieu. Les buses des soufflets ont 20 millimètres de diamètre, et sont placées à 8 centimètres en arrière du museau de la tuyère, dont la saillie dans le feu est de 3 à 4 centimètres seulement. On fait fondre 175 à 200 kil. de métal, et, au bout de trois heures, on obtient une loupe de ce poids. On la retire, on la porte sur l'enclume, on la cingle, et on la divise en deux parties, qu'on reporte sur le feu. L'étirage se fait pendant la fusion subséquente, et, comme dans la méthode styrienne, et dans le même but, on emploie des laitiers riches ou des battitures avec profusion. On a soin de faire écouler souvent les scories, afin d'exposer la surface du métal au jet d'air, lequel forme de l'oxidule qui hâte la décarburation.

On traite aussi de la même manière des plaques minces dont la fonte est devenue blanche, soit par l'arrosage, soit par une forte proportion de minerais spathiques; le temps et le mode de travail sont d'ailleurs les mêmes.

Affinage par attachement. Pour affiner par attachement, la masse étant avalée et dans un état d'effervescence, l'affineur enfonce une barre de fer sous la loupe, et la promène dans différentes directions, en laissant toujours le bout à peu près dans le plan horizontal passant par le dessous du museau de la tuyère; il tâche en même temps de former une espèce de creux sous la loupe, sans la faire descendre, afin d'y rassembler le fer en fusion, lequel, à la faveur d'une température très élevée, abandonne complétement les matières étrangères. Le fer s'attache fortement à la barre, et quand l'ouvrier sent qu'elle en est chargée d'une certaine quantité, il la retire, la plonge dans l'eau pour en détacher les scories, rassemble le fer par quelques coups de marteau à main, puis le refroidit dans l'eau; il plonge de nouveau la barre pour ramasser une nouvelle quantité de fer, et continue cette opération jusqu'à ce que son lopin ait un poids de 8 à 10 kil. Un second ouvrier l'étire ensuite et le sépare de la barre d'attachement.

Le nombre de lopins qu'on peut obtenir par attachement dépend du poids de la loupe, de la nature du fer, et de l'adresse de l'affineur. Quelquefois on ne tire que deux ou trois lopins; d'autres fois on en obtient jusqu'à neuf ou dix.

Pendant toute la durée de l'attachement, il faut employer beaucoup de vent, et lorsqu'il est terminé, on ralentit la soufflerie, et l'on achève de faire la loupe comme à l'ordinaire.

Cette méthode peut se combiner avec toutes celles dans lesquelles on avale la loupe, et présente les avantages suivans: 1°. économie de temps, d'où accroissement de production; 2°. économie de combustible, parce que le forgeage subséquent ne dure pas aussi long-temps; 3°. amélioration dans le fer obtenu par attachement, sans que celui de la loupe soit détérioré; souvent même il devient meilleur.

Elle peut aussi se combiner avec celles dans lesquelles le métal reçoit son degré d'affinage par une seule fusion sans soulèvement. Cette combinaison caractérise la méthode dite *osemunde*, par laquelle on traite une excellente fonte blanche en gueuse. Dans cette méthode, il faut employer beaucoup

de sornes et de battitures, et ne commencer à tirer le fer par attachement que lorsque le creuset est rempli de laitiers riches très liquides. Les lopins doivent être travaillés à force dans le laitier et dans le courant d'air, si l'on veut obtenir un fer de très bonne qualité. L'affinage marche sans interruption, ce qui le rend très fatiguant pour les ouvriers.

Cinglage de la loupe et étirage du fer. Les outils du forgeron sont :

1°. Une grande tenaille à cingler pour saisir la loupe et pour la tenir sur l'enclume au commencement du cinglage. Le mors de cette tenaille est courbe, et cette forme lui a fait donner le nom d'*écrevisse*.

2°. Une petite tenaille à cingler pour achever le cinglage, Pl. 5, *fig.* 19.

3°. Une barre de fer servant à retenir la loupe pendant le cinglage.

4°. Deux tenailles à chauffer les pièces et les lopins, Pl. 6, *fig.* 10.

5°. Deux tenailles à retenir les lopins pendant qu'on les dégrossit.

6°. Deux ou trois tenailles à coquille, Pl. 6, *fig.* 11, pour tenir les pièces et les lopins pendant qu'on les étire.

7°. Un haveau ou gambier, espèce de levier à deux manches en bois, pour aider le marteleur à porter les barres du foyer à l'enclume.

8°. Deux hacherons ou couteaux, espèce de hache à main, à tranchant obtus et à manche en fer. Le plus grand sert à diviser la loupe en lopins sous le choc du marteau; le plus petit, à couper les pailles et à *affranchir* les barres, c'est-à-dire à en rogner les bouts.

9°. Un marteau à chapeler pour dresser les pannes des marteaux et enclumes.

10°. Une pierre de grès pour polir les pannes.

11°. Une pièce à échantillonner ou *échantillon;* c'est une bande de tôle forte ou de fer mince dans les bords de laquelle on fait des entailles de diverses longueur pour calibrer les fers.

12°. Une chambrière ou un tréteau en fer pour porter le bout des barres pendant qu'on les chauffe.

La loupe sortant du foyer est portée sur une plaque en fonte que l'on nomme *refouloir*, et le marteleur la frappe de tous côtés avec une petite masse pour rassembler le fer. Il la saisit alors avec l'écrevisse et la porte sur l'enclume, le côté qui était tourné vers le contrevent en dessus, parce que le fer est moins bien soudé de ce côté, et doit par ce motif recevoir les premiers coups du marteau. On fait agir celui-ci lentement, jusqu'à ce que la loupe que l'on présente successivement dans différens sens ait pris de la con-

sistance. C'est là ce qu'on appelle *cingler* la loupe. On active alors le marteau jusqu'à ce qu'il ait acquis toute sa vitesse, et l'on transforme la loupe en un prisme carré, Pl. 6, *fig.* 12, que l'on nomme *pièce*.

Dans la méthode allemande, la pièce étant d'un poids trop considérable pour être transformée en barre, on la coupe en quatre, cinq ou six morceaux, au moyen du hacheron. Ces morceaux ou lopins sont placés successivement dans le feu, mais on dégrossit un peu le dernier, et l'on reporte les autres sur l'enclume pour les ébaucher de la même façon, afin qu'ils occupent moins d'espace dans le foyer, et que leurs surfaces étant plus unies, ils produisent moins de déchet.

Dans la méthode française, et dans toutes celles où la pièce n'est pas trop grosse, on reporte cette pièce au feu pour lui donner une chaude comme aux lopins.

On chauffe au blanc soudant; alors le marteleur tire la pièce ou le lopin le plus rapproché de la tuyère, la saisit avec une tenaille à coquille, et l'étire en barre dans le milieu, laissant une petite masse à chaque bout. Le fer, sous cette forme, représentée Pl. 6, *fig.* 13, prend le nom d'*encrenée*. Les autres pièces ou lopins sont forgés de la même manière.

On donne une chaude à l'un des bouts de l'encrenée, puis, étirant ce bout, on forme la *maquette*, *fig.* 14.

Enfin on chauffe l'autre bout, et l'on achève de forger, ce qui produit la *barre*, *fig.* 15.

Il faut avoir soin de faire frapper le marteau alternativement sur toutes les faces du fer, afin qu'elles aient toutes la même apparence.

On fait les barres plates ou carrées selon le besoin.

Pendant qu'on forge la maquette et la barre, l'aide marteleur ou *goujat* jette de l'eau sur le marteau et l'enclume pour *parer* le fer, c'est-à-dire pour le dépouiller de sa couche d'oxide.

Il faut toujours donner de bonnes chaudes suantes, parce qu'elles ne détériorent jamais le fer, et peuvent le corriger s'il est vicieux; mais il faut en même temps éviter de l'oxider ou de le *brûler*, suivant l'expression des ouvriers. A cet effet, on laisse accumuler les scories dans le foyer lorsqu'on chauffe les pièces pour les forger, et l'on y plonge le fer, qui peut dès lors recevoir le plus fort coup de feu sans aucun risque.

Lorsqu'on se sert d'une chaufferie pour l'étirage du fer, on y porte la pièce aussitôt qu'elle est faite, et on continue le travail comme précédemment.

Selon le poids et la vitesse du marteau, la grosseur des lopins et l'échantillon que l'on veut obtenir, il faut de 400 à 500 coups pour forger l'encrenée; de 350 à 450 pour faire la maquette; et de 450 à 550 pour achever la barre.

On désigne dans le commerce, sous le nom de *fer marchand,* celui qui se forge sous le gros marteau.

Ce fer se divise en trois classes :

1°. *Gros échantillons,* comprenant : les fers *carrés* de 13 à 30 lignes; les *plats* de 25 à 60 lignes, sur 6 à 8 d'épaisseur; les *bandages* de 28 à 36 lignes, sur 8 à 15; le *maréchal* de 16 à 18 lignes, sur 7 à 8; et le *cornet* de 6 à 8 pouces de largeur, sur 5 à 7 lignes d'épaisseur.

2°. *Moyens échantillons,* comprenant : les *carrés* de 10 à 12 lignes; les *plats* de 21 à 24 lignes, sur 5 à 7; le *petit bandage* de 28 à 30 lignes, sur 5 à 7; le *maréchal* de 13 à 14 lignes, sur 6.

3°. *Petits échantillons,* comprenant : les *carrés* de 9 à 10 lignes; les *plats* de 15 à 20 lignes, sur 4 à 4 ½ d'épaisseur; le *maréchal* de 12 lignes, sur 6, que l'on nomme aussi fer *méplat.*

Nombre d'ouvriers nécessaire pour l'affinage et l'étirage du fer. Le nombre des ouvriers et la manière de les employer varient selon la méthode que l'on suit.

Dans la méthode allemande, un feu occupe ordinairement cinq ouvriers : un maître affineur, un marteleur, deux chauffeurs et un aide. Le maître et le premier chauffeur travaillent ensemble, ainsi que le marteleur et le deuxième chauffeur; l'aide est à leurs ordres. Le travail commence dans la nuit du dimanche au lundi, et se poursuit sans discontinuer jusqu'au samedi soir. Le marteleur et le second chauffeur font la première tournée de chaque semaine; ils alternent avec les deux autres, après le travail de chaque loupe ou de chaque deux loupes.

Lorsqu'on tire la loupe, tous les ouvriers sont présens, l'aide excepté. Le marteleur la saisit avec l'écrevisse et la cingle, aidé par les chauffeurs qui la retiennent avec des barres; le maître porte et place les lopins dans le feu.

A cette époque, l'aide arrive pour apporter les charbons, tirer la pale de la roue, et tenir les échantillons. Les ouvriers qui ont fini leur tournée se retirent, et les deux autres procèdent au forgeage des lopins. Quand tout le fer est forgé, l'aide s'en retourne.

Par cette distribution des fonctions, tous les ouvriers sont appelés à fondre,

affiner et forger tour à tour, sous la surveillance du maître. Ils s'instruisent, peuvent se suppléer au besoin, et il en résulte plus d'émulation et d'uniformité dans le travail.

Le maître est chargé de monter le foyer, d'entretenir les machines soufflantes et leur roue; le marteleur a sous sa surveillance l'entretien de l'ordon et de sa roue, ainsi que la disposition du marteau et de l'enclume.

Les cinq ouvriers sont relevés, soit de douze en douze heures, soit toutes les vingt-quatre heures seulement.

Dans beaucoup d'usines, et en particulier dans celles où l'on suit la méthode d'affinage de Siegen, un feu est desservi par quatre hommes, dont deux maîtres et deux aides, chargés de l'affinage et de l'étirage. La tournée est ordinairement de vingt-quatre heures, mais les ouvriers peuvent se reposer après avoir achevé une loupe, c'est-à-dire toutes les trois heures. Les quatre ouvriers doivent toujours être présens pour tirer la loupe du feu et pour la cingler.

Dans les usines où l'étirage se fait dans un foyer particulier, le foyer d'affinerie et le feu de chaufferie sont desservis chacun par deux ouvriers, dont un maître et un aide, qui sont relevés, soit de trois en trois heures, soit de six en six heures. Assez ordinairement les postes sont de trois heures aux affineries et de six heures aux chaufferies, mais cet arrangement varie dans presque toutes les localités.

Consommations et produits. Les consommations et produits sont assez variables dans toutes les méthodes, et dépendent non seulement de la nature de la fonte mise en œuvre, mais encore de l'échantillon des fers et de l'adresse de l'ouvrier.

Dans la méthode allemande, on emploie de 1,300 à 1,500 kil. de fonte pour produire 1,000 kil. de fer : le déchet varie donc de 24 à 33 pour 100 du poids de la fonte. Quelquefois même il s'élève à 36 pour 100, lorsque la fonte est de mauvaise qualité, et disposée à donner du fer cassant à chaud ou à froid.

La consommation en combustible varie de 13 à 16 mètres cubes de charbon de bois blanc, ce qui, à raison de 140 kil. par mètre cube, revient de 1,800 à 2,240 kil. de charbon par 1,000 kil. de fer en barre. Le premier chiffre ne doit jamais être dépassé lorsqu'on ne fait que de gros fers.

Un feu à l'allemande peut fabriquer de 2,800 à 3,000 kil. de fer par semaine en moyens échantillons, et jusqu'à 4,500 kil. si l'on ne fabrique que de gros fers marchands.

Par la méthode française ou wallonne, la consommation en fonte est de 1,300 à 1,500 au mille de fer; la consommation en charbon, de 1,200 à 2,000; et le produit d'un feu, y compris sa chaufferie, s'élève par semaine de 5,500 à 6,000 kil. de fer en barre.

Sur la Lahn, on a deux feux d'affinerie pour un feu de chaufferie; et ces trois foyers, desservis par un seul marteau, produisent jusqu'à 8,000 kil. de fer. Le déchet sur la fonte s'élève de 25 à 28 pour 100, mais on ne consomme que 10 mètres cubes de charbon, soit environ 1,400 kil. par 1,000 kil. de fer.

Par la méthode styrienne, le déchet de la fonte passe rarement 10 à 12 pour 100, mais la consommation en combustible s'élève à 20 mètres cubes, soit 2,800 kil. par 1,000 kil. de fer, y compris le charbon employé pour le grillage des blettes. Cette opération consomme à elle seule de 900 à 950 kil. de charbon par 1,000 kil. de fonte grillée. Une si forte dépense en combustible rend cette méthode peu recommandable.

L'affinage de Siegen est celui qui présente le plus d'avantage sous le rapport des produits hebdomadaires et de la consommation de combustible. Un feu produit de 9,000 à 10,000 kil. de fer par semaine, mais à la vérité on ne le forge qu'en barres carrées de gros échantillon.

Le déchet sur la fonte varie de 16 à 25 pour 100, et le charbon brûlé ne s'élève que de 4^m cubes à 4^m,8 cubes par 1,000 kil. de fer. Ce charbon provient de bois durs, et pèse en moyenne 240 kil. par mètre cube, ce qui établit la consommation de 960 à 1,150 kil. seulement par 1,000 kil. de fer.

D'après de tels résultats, observés avec soin par Eversmann et Karsten, cette méthode mériterait de fixer l'attention des maîtres de forge, pour l'imiter du moins autant que la nature des fontes le permettrait.

Affinage des fontes sulfureuses et phosphoreuses.

Les fers provenant des fontes qui contiennent du soufre ont la propriété d'être brisans à chaud, et dès qu'ils parviennent à la couleur rouge, ils se criquent et se brisent sous le marteau. Si on les chauffe jusqu'au blanc, ils volent en éclat, et dès lors il est impossible de les souder. Ces fers, que l'on désigne sous le nom de fers *rouverins*, ne peuvent donc être employés qu'à froid, ou à une faible température. Quelques atomes de soufre suffisent pour leur donner ce défaut.

Les fontes phosphoreuses donnent au contraire un fer très malléable à

chaud, se soudant très facilement, mais *cassant à froid*, lorsque la dose de phosphore qu'il contient excède la proportion de $\frac{1}{2}$ à $\frac{3}{5}$ pour 100.

Pour améliorer ces fers, il faut surtout s'attacher à une bonne préparation des minerais dont ils proviennent, et à enlever la plus grande partie des substances nuisibles par le travail des hauts-fourneaux (voir la première partie); mais il faut en outre y apporter quelques corrections par l'affinage.

Ces corrections s'obtiennent dans tous les cas par l'emploi d'une certaine quantité de calcaire très pur, réduit en poudre.

Voici comment on opère aux forges de Torgelow (Poméranie) et de Peitz en Neumark, où l'on traite des fontes provenant de minerais limoneux, et qui contiennent de 3 à 5 $\frac{1}{2}$ pour 100 de phosphore.

On fait fondre de 120 à 125 kil. de fonte (288 livres de Prusse), et lorsque la fusion est terminée, que le métal, dans la direction du vent, a déjà pris quelque consistance, on arrête le vent, on soulève la fonte, et on jette de l'eau pour la solidifier complétement. On sort la masse et on nettoie le creuset, en mettant de côté les fragmens de fer qu'on y trouve, pour les joindre à l'opération suivante. On remplit le creuset de charbon frais; on renverse alors la loupe de manière que ses faces soient placées en sens inverse de leurs positions précédentes; on jette sur sa surface une pellée de calcaire en poudre, du poids de $1^k,5$ environ, on la recouvre ensuite de charbon, et on rend le vent. A partir de ce moment commence l'affinage proprement dit.

Après quelque temps, on jette deux pellées de calcaire sur les charbons qui recouvrent la loupe, et l'on ajoute une nouvelle pellée un peu avant que le fer soit redescendu au-dessous de la tuyère.

Alors on arrête le vent, on soulève de nouveau la loupe et on la place sur l'aire; on remplit le creuset de charbon frais, et on y jette une pellée de calcaire qui forme un lit sur lequel on replace la loupe, sans la retourner ni la renverser. On la recouvre de charbon, on verse par-dessus une pellée de calcaire, et on rend le vent pour fondre la loupe une seconde fois. Pendant la fusion, on répand encore deux pellées de calcaire sur les charbons.

On soulève la loupe une troisième fois, et pendant cette opération, qui est presque toujours la dernière, on se conduit comme dans les précédentes.

Lorsque après le dernier soulèvement, la loupe est redescendue au niveau

de la tuyère, on n'ajoute plus de calcaire, mais on la relève de nouveau, on ajoute du charbon frais, et on la replace sur le lit. On la laisse alors s'abaisser pour prendre du fer par attachement, après quoi on tire la loupe pour la cingler et la forger comme à l'ordinaire.

Dans ce travail, on ne fait pas écouler les scories qui sont pâteuses, et on les enlève par fragmens.

La quantité totale de calcaire employé pour faire une loupe est de 11 à 12 kil. Il faut éviter de l'employer en excès, parce qu'il rend les scories réfractaires, le fer pailleux, difficile à souder, et sujet à se mettre en éclats sous le marteau.

Le fer, après l'affinage, ne contient plus que de 0,70 à 0,84 pour 100 de phosphore, et présente quelquefois assez de ténacité pour être plié et replié à froid sans casser.

On a essayé d'employer à l'affinage des carbonates de soude et de potasse, seuls ou mélangés à la chaux; mais ces matières diminuent la soudabilité du fer, et lui communiquent une dureté que ne lui donne pas la chaux, même en excès.

On conçoit qu'un pareil travail doit entrainer non seulement un déchet considérable, mais aussi une forte consommation de combustible.

On peut appliquer aux fontes sulfureuses un traitement analogue, mais il faut sans doute, de même que pour les fontes phosphoreuses, varier les doses de calcaire selon le contenu de soufre ou de phosphore.

DU TRAVAIL DES MARTINETS.

L'étirage des fers de petites dimensions se fait au moyen de martinets ou macas, et on le sépare ordinairement du travail de l'affinage, pour ne pas gêner ce dernier.

On chauffe le fer dans des chaufferies ordinaires, en faisant usage, soit de charbon de bois, soit de houille, soit même de bonne tourbe carbonisée, la chaleur à produire ne devant pas être très intense.

L'outillage des martinets est le même que celui des grosses forges, à cela près que les tenailles sont un peu plus petites, et qu'on ne se sert pas de l'écrevisse.

Un martinet et sa chaufferie activés pendant le jour seulement, occupent deux ouvriers, le *platineur* ou *martineur* et le *chauffeur*. Si l'on travaille jour et nuit, il faut doubler ces ouvriers, qui alternent par tournées de

douze heures. Ces ouvriers font une pause de deux en deux heures, pour prendre un peu de repos, ainsi que pour examiner et réparer les barres forgées.

Le *fer martinet* se divise en trois espèces :

1°. *Gros échantillon*, comprenant : le *fer rond* de 9 à 15 lignes; et la *bandelette* ou fer plat de 9 à 15 lignes de largeur, sur 2 $\frac{1}{2}$ à 3 d'épaisseur.

2°. *Moyen échantillon*, comprenant : le *fer rond* de 6, 7 et 8 lignes; la *bandelette* de 7 à 8 lignes, sur 2 $\frac{1}{2}$; et le fer *carillon* ou carré de 6 à 7 lignes.

3°. *Petit échantillon*, comprenant : la *tringle ronde* de 3 à 5 lignes; la *petite bandelette* de 6 à 8 lignes, sur 2; le *petit carillon* ou carré de 4 à 5 lignes; et la *verge crénelée* ou fer carré qui conserve les crénelures que lui a imprimées le choc du marteau.

Ces diverses espèces de fer s'obtiennent en reforgeant du fer marchand de 3 à 4 cent. d'équarrissage, que l'on recoupe à la longueur de 80 à 90 cent., selon les dimensions des échantillons qu'on veut obtenir. Ces morceaux se nomment *bidons* ou *bâtards*.

Le foyer étant préparé et le combustible allumé, le chauffeur place au feu cinq à six bidons à la fois, en les tenant au-dessus du vent; et il a soin de comprimer un peu son charbon, de manière à empêcher l'oxidation sans gêner le passage de l'air. Cela fait, il règle le vent de manière à porter le fer au rouge blanc, en commençant par la barre la plus rapprochée de la tuyère.

Pour préserver le métal de l'oxidation, lorsque, malgré les précautions sus-indiquées, on ne peut l'empêcher, il faut recouvrir les bidons de battitures. Le sable produit le même effet, mais il faut en éviter l'emploi, parce qu'il rend le fer aigre et augmente les déchets.

Pour étirer une barre, on donne ordinairement trois chaudes : à la première, on étire le milieu du bidon; à la seconde, on étire l'un des bouts, et à la troisième, on forge l'autre bout. On pare le fer à mesure qu'une des parties de la barre est terminée.

C'est ainsi que s'exécute le forgeage des fers carrés plats et mi-plats; mais pour faire du fer rond, on commence par étirer et dégrossir les bidons sous un martinet ordinaire, en abattant les arêtes, dressant et parant le fer, après quoi on le forge entre des pannes à coquilles ou creusées cylindriquement.

Lorsqu'on veut obtenir du fer de meilleure qualité, il faut le *corroyer*.

A cet effet, on forge d'abord les bidons en lames de 18 à 24 lignes, sur 3 à 4; on coupe ces lames en morceaux de 10 à 15 pouces, dont on forme des *trousses* ou *paquets* en les superposant; on réunit dans chaque trousse 6 à 8 morceaux, et l'on a soin de placer les bouts dans le milieu. Si l'on ne dispose que de fers cassans et brisans, il faut les mélanger par parties égales; l'un et l'autre défaut s'en trouve diminué.

Les trousses formées, on leur donne une chaude soudante, et on les porte sous le martinet pour les souder dans toutes leurs parties. Si l'oxide qui peut recouvrir les surfaces ou s'y former pendant la chauffe s'opposait au soudage, il faudrait le dissoudre en saupoudrant les morceaux avec un peu de sable fin.

Un martinet bien desservi, et ne travaillant que de jour, peut produire 1,500 à 1,800 kil. de fer en petits échantillons. En travail continu de jour et de nuit, il peut en donner 3,000 kil.

Le déchet doit être au plus de 5 pour 100 sur les plus petits échantillons; et en n'en faisant que de gros, il n'est souvent que de 1 et demi à 2 et demi pour 100.

La consommation par 1,000 kil. de fer est : en charbon de bois, de 700 à 1,100 kil., selon la grosseur des fers; en houille, de 450 à 600, et en charbon de tourbe, de 800 à 1,200, selon sa qualité.

A la fin de chaque journée, on réunit les tringles et les verges en bottes, qu'on lie avec du fer très doux, et dont le poids, y compris les liens, est de 25 kil.

Dans plusieurs usines, au lieu de se servir de chaufferies, on fait usage d'une espèce de four sans cheminée, que l'on nomme *four dormant*. Il se compose d'une grille de 1^{m}40 à 1^{m}50 de longueur, sur 1^{m}10 de largeur, recouverte par une voûte surbaissée, dont la clef s'élève de 0^{m}45 à 0^{m}50 au-dessus de cette grille. La voûte est fermée à l'un des bouts, et dans l'autre est pratiquée une porte un peu cintrée de 0^{m}24 à 0^{m}25 de hauteur, sur 0^{m}80 à 0^{m}90 de largeur, dont le seuil est en fonte, et élevé au-dessus de la grille de 0^{m}15 à 0^{m}16. C'est par cette porte, qui se ferme au moyen d'un registre à bascule, que l'on répand le combustible sur la grille et qu'on y charge le fer. Celui-ci reposant sur le combustible incandescent, activé par un courant d'air libre, acquiert promptement la chaleur rouge nécessaire au travail.

Ces fours, d'une construction analogue à celle des fours à réverbère,

dont on parlera plus loin, sont d'un usage avantageux et assez économique, mais sont insuffisans lorsqu'on veut corroyer le fer en formant des trousses, parce qu'ils ne peuvent s'élever à la température nécessaire au soudage.

AFFINAGE A LA TOURBE.

D'après les observations de M. Voltz, ingénieur en chef des mines, la bonne tourbe carbonisée est au moins aussi convenable pour l'affinage que le charbon de sapin; et des essais comparatifs faits aux forges de Rothau entre ces deux combustibles, ont fait voir que le fer affiné au charbon de tourbe avait l'avantage d'être plus soudant. Néanmoins ces essais paraissent n'avoir pas été satisfaisans sous tous les rapports, puisque, jusqu'à présent, l'emploi du charbon de tourbe n'a point été adopté.

SECTION III.

FORGES A L'ANGLAISE. — AFFINAGE DE LA FONTE A LA HOUILLE.

PROCÉDÉ DE FABRICATION.

La méthode de fabriquer le fer à la houille, dont l'idée est peut-être due aux travaux de Réaumur, fut inventée par Cort et Parnell, en 1787, et se pratique en Angleterre depuis cette époque. Incomplète et très dispendieuse à son origine, cette méthode a subi plusieurs modifications importantes qui ont enfin assuré son succès, et aujourd'hui elle est portée à un point de perfection qui laisse peu de chose à désirer.

Elle consiste à préparer la fonte à l'affinage en la mettant en fusion au moyen du coke, dans des foyers que l'on nomme *fineries;* à l'affiner ensuite dans des foyers particuliers, que l'on désigne sous le nom de *fours à réverbère;* puis à forger le fer, soit au moyen d'un marteau et de cylindres munis de cannelures, soit au moyen de ces derniers seulement.

Le travail du fer se divise en plusieurs opérations successives.

La première est le *raffinage* ou *finage* de la fonte, qui s'exécute dans les fineries, et dont le produit est une fonte épurée et en partie décarburée, que l'on nomme *fin métal*.

La seconde est l'affinage du fin métal dans des fours à réverbère, que l'on nomme *fours à puddler.*

La troisième est le *cinglage* ou *dégrossissage,* qui s'exécute en portant les *loupes* ou *balles* sortant des fours à puddler sous le marteau, pour les convertir en *pièces,* puis à faire passer les pièces entre de gros cylindres cannelés, nommés cylindres *préparateurs* ou *dégrossisseurs.* Quelquefois les loupes sont passées immédiatement aux dégrossisseurs. Dans tous les cas, on réduit le fer en grosses barres plates entre ces cylindres, et on le laisse refroidir.

La quatrième opération est le *cisaillage,* qui a pour but de couper le fer dégrossi en morceaux de diverses longueurs, dont on forme ensuite des *trousses* ou *paquets.*

La cinquième est le *réchauffage* ou le *soudage* des trousses, et s'exécute dans des fours à réverbère, que l'on nomme *fours à réchauffer.*

La sixième et dernière, lorsqu'on n'a pour but que de fabriquer du fer marchand ordinaire, est le *laminage.* Elle consiste à comprimer d'abord les trousses entre des cylindres *ébaucheurs,* que l'on nomme aussi *dégrossisseurs marchands,* pour les souder complètement et en réduire les dimensions, puis à les porter aux *laminoirs marchands,* pour les étirer en barres de dimensions voulues.

Ces barres sont dressées pendant qu'elles sont encore rouges, ou du moins très chaudes. Lorsqu'elles sont refroidies, on les met en magasin pour être ensuite livrées au commerce.

Lorsqu'on veut obtenir du fer d'une qualité supérieure à celle du fer marchand, on recoupe encore ce dernier à la cisaille, et l'on en forme des trousses, soit d'une même espèce de fer, soit de fers mélangés. Ces trousses sont soudées dans un four à réchauffer, et ensuite étirées au laminoir.

Les fers de petit échantillon se fabriquent au moyen de cylindres cannelés de moindres dimensions que les laminoirs marchands, et dont l'ensemble se nomme *petit mill* ou *petit laminoir.* On recoupe des barres carrées de gros fer pour en former des bidons, que l'on réchauffe et que l'on étire immédiatement au petit mill.

Enfin, lorsqu'on veut faire de la tringle ronde ou carrée, on continue l'étirage du petit mill entre de très petits cylindres cannelés, que les Anglais nomment *gid-rolls (guid-rolls),* nom qui peut se traduire par *laminoir à tringles* ou *à baguettes.*

Telles sont les opérations qui caractérisent la méthode anglaise; et les

usines dans lesquelles elles s'exécutent portent le nom de *forges à l'anglaise*.

Les tôleries, les espatards et les fenderies entrent aussi dans la composition de ces forges, mais n'appartiennent pas exclusivement à leur méthode de travail.

DISPOSITIONS DES FORGES A L'ANGLAISE.

Les forges à l'anglaise exigent un vaste emplacement non seulement pour les machines, les laminoirs et les fours, mais encore pour les divers travaux qui en sont inséparables. En créant de tels établissemens, il faut autant que possible calculer l'extension dont ils sont susceptibles, et disposer à l'avance les constructions de manière qu'elles puissent y suffire.

Un bâtiment de forge à l'anglaise se compose ordinairement d'une halle de forme rectangulaire et très spacieuse, autour de laquelle sont établis des hangars ou appentis. L'intérieur de la halle est occupé par les machines motrices et par les machines de fabrication, c'est-à-dire par les marteaux, cisailles et cylindres de toute espèce. Sous les hangars, ou à l'extérieur de la halle, sont placés les fours, les tours, les chaudières des machines à vapeur, si l'on en fait usage, et les magasins de fer fabriqué.

La longueur de la halle dépend du nombre d'équipages de laminoirs ou de cylindres qu'on veut établir. Une forge complète exige de 70 à 80 mètres de longueur; la largeur doit être telle que, de chaque côté des laminoirs pour finir les fers en barres, on puisse disposer d'un espace libre de 10 à 12 mètres. La largeur des hangars, selon la disposition des fours, doit être de 6 à 8 mètres intérieurement.

Au reste, un excédant d'espace n'est jamais nuisible dans des usines de ce genre, à cause du mouvement qui y règne en tous sens; et mieux vaut en prendre plus que de se restreindre dans les limites du strict nécessaire.

Soit que l'on emploie comme moteurs des machines à vapeur ou des roues hydrauliques, il est convenable d'en établir deux, entre lesquelles on repartit le travail. Par cette disposition, le chômage de l'usine, en cas d'accident ou de réparation à l'une des machines, n'est que partiel, et l'on peut reporter toute l'activité du travail sur les équipages dont la marche n'est pas arrêtée.

Afin que tous les équipages puissent marcher simultanément, il faut éviter autant que possible de les placer l'un devant l'autre, ou du moins,

dans ce cas, laisser entre les lignes tout l'espace nécessaire au travail et à la libre circulation.

Les fours doivent toujours être placés à portée des industries qu'ils desservent : ainsi les fours à puddler doivent être groupés autour du marteau et des cylindres préparateurs, les fours à réchauffer à proximité des laminoirs marchands et du petit mill, etc. Entre les fours à puddler ou à réchauffer et les marteaux ou laminoirs, on établit des lignes de plaques de *traînage* ou *coursières,* sur lesquelles on traîne les loupes ou les barres chaudes.

Selon la disposition des industries dans la halle, les cisailles sont établies au dedans ou au dehors; dans tous les cas, il faut les placer de manière qu'elles ne gênent pas le service. Lorsqu'on les éloigne des moteurs, on leur transmet le mouvement par des tirandes et des renvois souterrains.

Les fineries sont toujours dans un bâtiment séparé de la forge, et leur machine soufflante est mise en activité soit par une des machines motrices de la forge, soit par une machine particulière, ce qui est préférable, parce qu'il est plus facile de régler le vent, de le régulariser, et que les fineries ne sont pas ainsi soumises aux intermittences de travail ou aux chômages.

Lorsque les hauts-fourneaux qui produisent tout ou partie des fontes nécessaires à la forge sont situés à proximité, les fineries les accompagnent et reçoivent le vent de leurs machines soufflantes.

Les accessoires inséparables d'une forge, sont : un atelier de forge et d'ajustage pour l'entretien des outils et machines; un atelier de charpente et menuiserie pour les réparations de charpente, l'entretien des chariots, voitures, etc., et pour la confection des modèles dont on peut avoir besoin; une briqueterie ou un magasin de briques et terres pour la construction et l'entretien des fours; un magasin pour la réception et le pesage du fin métal; des emplacemens pour déposer les fontes et le charbon, pour faire le coke nécessaire aux fineries, et pour recevoir les scories ainsi que les résidus des fourneaux.

Il est utile d'avoir une petite fonderie pour faire au moins les pièces qui sont le plus exposées à casser, et faute desquelles une partie du travail peut se trouver arrêtée.

Lorsqu'on fait usage de machines à vapeur, et que l'on n'a pas une affluence d'eau suffisante pour leur service, il faut construire un vaste réservoir dans lequel l'eau va se refroidir pour être ensuite réemployée.

Enfin, à défaut de fontaine pouvant donner l'eau à environ 60 centi-

mètres au-dessus du sol, il faut établir une pompe pour donner l'eau aux fineries, au centre des masses de fours, et dans les divers points de l'établissement où elle est nécessaire.

Les *fig.* 1, 2, 3 et 4, Pl. 12, représentent les dispositions générales de l'usine de Decazeville (Aveyron), que l'on peut citer comme un établissement modèle et complet en ce genre (1).

La description de cette planche fait connaître avec détails l'emplacement des divers appareils et machines.

DES FINERIES.

Les fineries sont des foyers dans lesquels on fait subir à la fonte, destinée à être convertie en fer, une fusion qui a pour but de la débarrasser d'une partie des substances étrangères, et de la blanchir. Cette opération est un véritable mazéage, et de là vient que les fineries sont aussi désignées sous le nom de *mazeries à l'anglaise*. Le produit des fineries se nomme *fonte mazée* ou *fin métal*.

Une finerie est un creuset rectangulaire *cc*, *fig.* 1 et 2, Pl. 13, dont trois bâches en fonte *a*, *b*, *b*, forment les parois postérieures et latérales. Le devant du creuset est fermé par une forte plaque *hh*, que l'on nomme *laiterol* ou *plaque de chio*, dans laquelle est réservée une échancrure *o* pour laisser écouler la fonte et les scories. Les bâches, fermées hermétiquement, sont constamment remplies et alimentées d'eau froide, afin de résister plus long-temps à l'action de la chaleur. Le creuset est renfermé entre quatre piliers en fonte A, A, qui portent un cadre supérieur en fonte composé de plaques *dd*, *ee*, sur lesquelles s'élève une cheminée ou hotte en briques. Sur les bâches latérales ou de *contrevent* reposent des plaques de tuyères *pp*, dont les ouvertures O, O servent de passages à des tuyères par lesquelles le vent est lancé dans le creuset.

Les anciennes fineries n'avaient que trois tuyères placées sur l'un des côtés, et elles étaient accessibles par les trois autres; les nouvelles fineries ont quatre ou six tuyères formant deux rangs opposés, et ne sont libres que du côté du laiterol et de la bâche de derrière ou de *rustine*. Ces dernières dispositions sont presque les seules en usage aujourd'hui, parce qu'elles sont beaucoup plus avantageuses que celle des fineries à un seul rang de tuyères.

(1) Cette usine a été créée sous la direction de M. Cabrol, ancien capitaine d'artillerie.

Le vent est amené par des conduits en fonte T T, et distribué aux tuyères par des boîtes à vent, comme l'indique la Pl. 14.

Les bâches qui forment le creuset reposent sur une aire FF, *fig.* 2, Pl. 13, en briques réfractaires placées de champ, sont posées sur un mortier clair ou coulis d'argile réfractaire, et leurs joints sont lutés avec le même mortier, en sorte que les matières liquides renfermées dans le creuset ne peuvent s'en échapper que par le *chio* ou *floss o*.

En avant du creuset est une lingotière en fonte composéee de plusieurs parties jointives *l, l' l'*, *fig.* 1, 2, 3 et 4; c'est dans cette lingotière, dont l'extrémité est fermée avec de la terre grasse battue, qu'est reçue la fonte en fusion. On l'y laisse solidifier, puis, presque rouge encore, on la plonge dans une bâche à eau *nn*, placée à la suite de la lingotière.

Les fineries, au nombre de deux, trois ou quatre, selon l'importance de la forge qu'elles doivent desservir, sont placées dans un bâtiment ou sous un simple appenti. Elles doivent être espacées d'au moins 4 mètres d'axe en axe pour que leur service soit facile, et mieux vaut encore les espacer de 5 à 6 mètres lorsque l'emplacement le permet.

Dans les fineries à quatre tuyères, les dimensions du creuset varient de 0^m75 à 0^m82 pour la largeur, et de 1^m20 à 1^m30 pour la longueur.

Dans les fineries à six tuyères, la largeur du creuset varie de 0^m90 à 1^m, et sa longueur de 1^m25 à 1^m40.

La profondeur du creuset se règle selon la nature des fontes, en faisant la sole *ss*. Elle est de 0^m20 à 0^m22 pour les fontes difficiles à affiner, telles que les fontes grises; on lui donne de 0^m28 à 0^m30 pour les fontes blanches, et pour toutes celles dont l'affinage est facile.

Généralement on fait la sole horizontale, mais il est avantageux de l'incliner un peu vers le laiterol, afin de faciliter la sortie de la fonte et des laitiers.

On ne fait usage, pour les fineries, que de tuyères à eau, semblables à celles des hauts-fourneaux; ces tuyères, représentées Pl. 14, *fig.* 10 et 11, sont composées d'une double enveloppe en tôle forte, dont l'intervalle est rempli et alimenté d'eau froide, afin qu'elles ne brûlent pas trop promptement. Leur inclinaison dépend de la fonte que l'on traite; elle varie de 8 à 12 degrés pour les fontes difficiles à affiner, et de 22 à 25 degrés pour les fontes tendres à l'affinage. On la règle au moyen d'un petit muret en briques que l'on construit sous le plat de la tuyère, comme on le voit *fig.* 1, 2 et 5, Pl. 14.

Pour les fontes demi-dures à l'affinage, on fait usage de profondeurs moyennes du creuset, et d'inclinaisons moyennes des tuyères.

Presque toujours on mélange les fontes pour charger le creuset, et, dans ce cas, il est avantageux de donner des inclinaisons différentes aux tuyères de côtés opposés. M. Walter a fait usage de cette disposition avec succès aux forges de Terrenoire, en dirigeant le vent de l'un des rangs de tuyères vers le milieu de la hauteur du côté opposé, et celui de l'autre rang vers le milieu de la surface du bain métallique. Il en résulte une fusion plus prompte, un mazéage plus rapide, une moindre consommation de combustible, et un déchet moins considérable.

On avance les tuyères de 0^m10 à 0^m12 dans le creuset, afin qu'elles plongent légèrement dans le bain de scories; on ne doit jamais les faire plonger dans le bain de fonte.

Les buses s'engagent dans les tuyères jusqu'à 0^m12 à 0^m15 de l'œil; leur diamètre varie de 30 à 33 millimètres pour fonte blanche, et de 35 à 42 millimètres pour fonte grise. L'œil des tuyères doit avoir une section un peu plus grande que celle des buses; souvent on le fait double et même triple, sans qu'il paraisse en résulter aucun inconvénient, mais il est préférable de ne pas lui donner un diamètre beaucoup plus grand que le diamètre extérieur de la buse, pour que le vent ne puisse être refoulé, et ne se perde pas par le pavillon de la tuyère.

Les Pl. 13 et 14, et leurs descriptions, indiquent les dispositions et tous les détails de construction d'une finerie.

DES FOURS.

On fait usage, pour le travail du fer par la méthode anglaise, de deux espèces de fours, les fours à puddler et les fours à réchauffer. Les uns et les autres sont du genre de ceux que l'on nomme *fours à réverbère*, parce qu'ils sont recouverts d'une voûte qui réfléchit la chaleur sur l'aire du fourneau. Leurs parties principales sont la *chauffe* QQ, *fig.* 2 et 3, Pl. 15, l'*aire* SS, sur laquelle s'établit la sole, et la cheminée DD. La chauffe et la sole sont recouvertes d'une voûte qui s'abaisse successivement jusqu'à l'ouverture de la cheminée.

Sauf les dispositions et les dimensions intérieures de ces deux espèces de fours, leur construction, ainsi que celle de leurs cheminées, sont tout-à-fait les mêmes. Comme ils doivent résister à une très haute température, toute leur paroi intérieure est construite en briques réfractaires. Cette paroi,

à l'exception de la voûte, est environnée d'une maçonnerie en briques ordinaires, que l'on nomme *revêtement*.

Afin d'opposer une résistance suffisante à l'action destructive de la dilatation, et de donner un appui invariable à la voûte, on soutient la maçonnerie extérieure par des armatures en fer et fonte. Ces armatures se composent ordinairement de plaques de fonte qui recouvrent tout le pourtour du fourneau. Leur pied est scellé solidement dans la terre ou dans la maçonnerie de fondation, et elles sont retenues à leur partie supérieure par des barres à boulons passant par-dessus la voûte.

Quelquefois on se borne à maintenir les maçonneries par de simples plaques d'appui MM, *fig.* 3, Pl. 16, placées de distance en distance, ou même par de simples montans en fer, mais, dans ce cas, il faut donner plus d'épaisseur à la maçonnerie extérieure.

La cheminée a toute sa paroi intérieure en briques réfractaires, et son revêtement extérieur en briques ordinaires. Sa base, ayant comme le four à supporter une forte chaleur, doit être consolidée par des plaques en fonte qui forment en même temps support pour la partie supérieure.

Toute la construction d'un four, et surtout celle de la cheminée, doit être faite avec soin et beaucoup de solidité. Nous renvoyons à cet égard, ainsi que pour la connaissance de tous les détails, aux diverses planches de fourneaux et à leurs descriptions.

La grille de la chauffe est composée de barreaux mobiles en fer, afin qu'on puisse les écarter pour faire tomber les escarbilles, nettoyer la grille après chaque opération, et faire varier au besoin l'activité du tirage. Dans la plaque *h* qui garnit le bout du four, et qui est représentée séparément, *fig.* 23 et 24, Pl. 15, on laisse trois ou quatre ouvertures *o, o*, par lesquelles le chauffeur introduit son ringard pour nettoyer la grille ou soulever le charbon. Ces ouvertures servent aussi à chauffer des barres de fer nommées *crosses* ou *gouvers*, dont on se sert pour cingler les loupes. A défaut de ces ouvertures, on laisse un vide d'environ 5 centimètres au-dessus des barreaux.

On introduit le combustible sur la grille par une ouverture latérale T, *fig.* 1 et 2, que l'on nomme *tisard* ou *gueulard*. Lorsque la grille est chargée, on bouche le tisard avec de la houille pour fermer l'accès à l'air. Souvent on pratique à côté du tisard deux ou trois trous *o, o*, *fig.* 33, par lesquels on fait chauffer les gouvers. Le tisard doit être évasé en dedans et en dehors, pour que l'on puisse mieux répandre le charbon sur la grille.

L'aire SS est quelquefois en briques réfractaires posées de champ, mais plus généralement en fonte. Dans le premier cas, elle repose sur un massif ou sur une voûte en maçonnerie; dans le second, elle est composée d'une ou plusieurs plaques reposant sur le pourtour du four. Le dessous de ces plaques est vide, et on y laisse un accès à l'air, afin qu'étant rafraîchies en dessous, elles cèdent moins à l'action de la chaleur.

Au bas de la cheminée, ou quelquefois dans une partie même du four, on ménage une ouverture *t*, *fig.* 1, que l'on nomme *floss*, et qui est destinée à laisser écouler les scories.

L'aire se rétrécit vers la cheminée, et la voûte s'abaisse pour former un passage plus étroit que l'on nomme le *rampant;* c'est par ce passage que la flamme s'introduit dans la cheminée, en même temps qu'elle est rabattue vers le floss pour maintenir les scories liquides.

Entre l'aire et la grille est un muret P′ que l'on nomme pont de *chauffe* ou *autel;* et dans les fours à puddler seulement, se trouve, près du rampant, un autre petit muret P″ que l'on nomme pont de *rampant* ou de *floss*. Ce muret disparaît quelquefois entièrement lorsque l'aire est revêtue de sa *sole*, et laisse écouler les laitiers vers le *floss*.

Chaque four doit avoir sa cheminée séparée, et lorsqu'on réunit deux fours avec une cheminée commune, cette dernière doit avoir deux gaines séparées par une languette en briques réfractaires, afin qu'on puisse régler le tirage de chaque four à volonté.

La hauteur de la cheminée est ordinairement de 11 à 12 mètres pour les fours à puddler, et de 10 mètres environ pour les fours à réchauffer qui n'ont pas besoin d'un tirage aussi fort. Le sommet de ces cheminées est recouvert d'une plaque mobile en fonte que l'on nomme *registre*, et au moyen de laquelle on règle la marche du four dans les diverses périodes du travail.

Les cendriers des chauffes doivent présenter un accès libre à l'air; il est avantageux de les faire assez profonds pour que la chaleur des escarbilles ne se fasse pas trop sentir à l'air qui arrive sous la grille, sans quoi cet air se dilate, et la combustion ainsi que le tirage s'en trouvent rallentis. Dans quelques usines, on jette ou l'on fait arriver de l'eau dans le cendrier, pour se mettre à l'abri de ces inconvéniens en éteignant les escarbilles à mesure qu'elles tombent.

La porte de travail des fours à puddler et à réchauffer est toujours un

peu plus rapprochée de l'autel que du rampant, particulièrement dans les premiers, parce que le brassage du métal doit se faire sous l'influence de la plus haute température. Cette porte se manœuvre au moyen d'un levier avec ou sans contre-poids. A sa partie inférieure est un *regard* ou petite ouverture par laquelle l'ouvrier introduit ses outils pour travailler, et voit la marche de ses opérations. Ce regard se bouche avec une petite plaque en fonte pendant les interruptions de travail.

Les portes de fours sont faites en forme de caisses, et sont garnies intérieurement d'un placage en briques réfractaires pour qu'elles puissent résister au feu.

Entre les fours à puddler et le marteau ou les cylindres dégrossisseurs, de même qu'entre les fours à réchauffer et les laminoirs, on établit des plaques coursières en fonte, sur lesquelles on traine le fer au sortir des fours.

Malgré la ressemblance des fours à puddler et à réchauffer, et toutes les parties qui leur sont communes, ces fours présentent dans leurs dispositions des différences assez essentielles, parce que leur but n'est pas le même. Il est donc nécessaire de faire connaître les principes de ces dispositions pour chacun d'eux.

Fours à puddler.

Les fours à puddler sont ceux dans lesquels on affine la fonte ou le fin métal, pour les convertir en fer ductile.

Ces fours doivent être construits de manière, 1°. que la flamme ne contienne plus de carbone ou le moins possible en arrivant au-dessus de la sole; cette condition, essentielle pour que la fonte se décarbure et pour que l'affinage marche convenablement, ne peut jamais être remplie entièrement; 2°. à produire une chaleur assez forte pour mettre la fonte qui est sur la sole dans un état de fusion pâteuse, et même de fusion complète au besoin; 3°. que la sole soit chauffée aussi uniformément que possible dans toute son étendue; 4°. que la vitesse de la flamme soit ralentie dans la capacité du four, afin que la chaleur soit mieux utilisée, et qu'elle reprenne une grande vitesse à son entrée dans la cheminée, pour que le tirage soit vif et maintienne l'activité de la combustion; 5°. à soustraire le métal affiné à une action trop oxidante de l'air qui échappe à la combustion.

La première condition est remplie suffisamment en plaçant la grille assez au-dessous du plan de la sole pour que le carbone se brûle en majeure

partie avant que la flamme entre dans le four. Cette différence de hauteur dépend principalement de la qualité des houilles. Si l'on fait usage de houilles grasses, on place la grille de 25 à 27 centimètres au-dessous du plan de la sole supposée nouvellement faite. Cette dernière s'élève ordinairement de 8 à 10 centimètres au-dessus de l'aire en briques ou en fonte. Si l'on se sert de houilles demi-grasses, on place la grille à 20 ou 22 centimètres plus bas que la sole.

Le pont de chauffe ou l'autel ajoute à la hauteur que doit parcourir la flamme avant d'arriver au-dessus de la sole. Pour les houilles grasses, on élève le pont jusqu'à 50 ou 55 centimètres au-dessus de la grille; si la houille est moyenne, la hauteur du pont au-dessus de la grille n'est que de 42 à 45 centimètres.

La grille ne doit être ni trop petite ni trop grande. Trop petite, elle est trop chargée de combustible, la combustion se fait mal, et la flamme n'est pas assez dépouillée de carbone. Trop grande, la combustion est lente, une trop grande quantité d'air non brûlé passe dans le four, et la flamme, devenant trop oxidante, augmente les déchets.

Les plus grandes dimensions de grilles sont de 1^m35 de longueur sur 1^m de largeur; les plus ordinaires sont de 1^m en tous sens, et les plus petites ont 0^m90 à 0^m95 en longueur sur 0^m70 à 0^m75 en largeur. Les plus grandes dimensions de grilles correspondent ordinairement aux fours les plus spacieux et aux voûtes les plus élevées.

Les deux conditions suivantes sont remplies par la disposition de la voûte. La chaleur ayant son plus grand degré d'intensité au sortir du foyer, la plus grande hauteur de voûte doit correspondre au dessus de l'autel. Elle est de 40 centimètres environ au-dessus de cette partie, pour les houilles grasses, et de 30 à 32 centimètres pour les houilles moyennes. A partir du pont, la chaleur diminuant d'intensité, la voûte doit s'abaisser successivement pour que toutes les parties de la sole reçoivent une température égale à celle de la partie voisine du pont. Elle laisse à l'entrée du rampant une ouverture dont la hauteur varie de 20 à 35 centimètres.

On satisfait à la quatrième condition en élargissant la sole vers son milieu, et en la resserrant près du rampant. On lui donne la forme d'un double trapèze, dont la partie antérieure ou du côté de la porte forme une embrasure qui permet à l'ouvrier de porter ses regards et ses outils sur tous les points de la sole. La partie postérieure est légèrement arrondie près du rampant, ou un peu concave.

Les dimensions des soles sont :

	Pour grands fours.		Pour moyens fours.		Pour petits fours.	
Longueur............	2^m	à 2^m30	1^m80 à	2^m	1^m55 à	1^m75
Plus grande largeur.....	1^m50	1^m62	1^m20	1^m30	1^m15	1^m25
Largeur à l'autel.......	1^m00	1^m10	0^m90	0^m95	0^m80	0^m90
Largeur au rampant....	0^m60	0^m65	0^m60	0^m65	0^m60	0^m65

La dernière de ces dimensions est à peu près constante, parce que, dans tous les cas, le tirage doit avoir la même activité ; les autres dépendent surtout de la nature de la houille : elles peuvent être d'autant plus grandes, que ce combustible est plus gras et produit une flamme plus abondante et plus longue.

Le rapport de la surface de la sole à celle de la grille est assez généralement de 3 à 1 ; mais il paraît qu'on peut s'en écarter un peu en plus ou en moins, sans changement sensible dans la marche du fourneau. Ainsi, il y a des fours dans lesquels ce rapport est de 35 à 10, tandis que dans d'autres il n'est que de 28 à 10. Ces différences se compensent du reste par la plus ou moins grande élévation de la voûte. Toutes choses égales d'ailleurs, la voûte doit être moins élevée pour les grandes soles que pour les petites.

Dans les fours à puddler, le rampant et la grille n'ont pas toujours le même axe ou ligne de milieu, et l'on porte souvent à dessein le rampant vers la paroi du fond, afin d'avoir une température plus élevée dans cette partie. On a principalement pour but, dans ce cas, d'avoir un courant moins oxidant sur la partie antérieure de la sole, pour y faire séjourner une partie des loupes lorsqu'elles sont faites. L'élévation du pont de chauffe, de 15 à 20 centimètres au-dessus de la sole, remplit le même but pour les loupes auxquelles elle sert d'abri, et par ces deux dispositions, ensemble ou séparées, on satisfait à la dernière condition indiquée.

Pour avoir un bon tirage, il faut que la section des cheminées de fours à puddler soit de $\frac{1}{5}$ à $\frac{1}{7}$ de la surface totale de la grille. Cette section est uniforme dans toute la hauteur de la cheminée ; on la fait carrée de 0^m40 à 0^m45 de côté, et quelquefois rectangulaire, en employant ces deux dimensions.

Fours doubles. Dans le but d'opérer à la fois sur une plus grande quantité de métal, et dans l'attente d'une économie de combustible, on a construit des fours ayant du même côté deux portes de travail, et que l'on désignait sous le nom de *fours doubles*. Ces portes étaient espacées d'environ 1 mètre de milieu en milieu, et dans cet intervalle, la voûte

s'abaissait un peu. La fonte se chargeait par les deux portes, et les ouvriers travaillaient simultanément. On chargeait à la fois 325 kil. de métal.

Ces fours ont été abandonnés, parce que les parties de la sole correspondantes aux deux portes étaient dans des conditions différentes de température. Le travail par la porte la plus éloignée du pont était toujours en retard sur celui de la porte plus voisine de ce pont; ou bien, pour donner à la seconde porte une température convenable, on avait un excès de chaleur à la première. Le travail était à la fois plus difficile, moins régulier, plus dispendieux en main-d'œuvre, et occasionnait plus de déchets, sans présenter d'économie de combustible.

Fours à deux soles. La nécessité d'économiser le combustible, dont le prix est élevé en France, a fait imaginer les fours à double sole représentés par la Pl. 16. Ces deux soles sont séparées par une cavité destinée à recevoir les scories; la voûte s'infléchit en ce point, se relève sur la seconde sole, et s'abaisse de nouveau vers la cheminée. L'affinage se fait sur la sole voisine du pont, et, pendant cette opération, on chauffe sur la seconde sole le métal destiné à l'opération suivante.

Ces fours présentent plusieurs avantages que l'on indiquera en parlant du puddlage, et devraient, par ce motif, être plus généralement employés qu'ils le sont.

Fours à réchauffer.

Les fours à réchauffer sont employés à chauffer le fer brut provenant des laminoirs dégrossisseurs après qu'il a été coupé à la cisaille, à souder les trousses de fer cisaillé qui doivent passer aux laminoirs marchands, et à réchauffer le fer produit par ces derniers pour passer aux petits laminoirs.

Les conditions à remplir par ces fours, sont de produire une chaleur soudante aussi uniformément que possible sur toute la sole, sans occasionner une trop forte oxidation.

L'uniformité et le bon emploi de la chaleur s'obtiennent par des dispositions analogues à celles des fours à puddler, et l'on évite en partie l'oxidation, en chargeant la grille d'une plus grande quantité de combustible; de là résulte une flamme moins dépouillée de carbone, parce que l'air passe moins librement au travers de la grille. Cette flamme peut non seulement n'être pas oxidante, mais encore devenir désoxidante si elle entraine avec elle une grande quantité de carbone.

Dans beaucoup d'usines, les fours à réchauffer ne diffèrent pas ou diffè-

rent peu des fours à puddler; mais l'expérience a démontré que pour l'uniformité du réchauffage, il était préférable d'employer de longues soles que des soles trop variables en largeur. La Pl. 22 représente un four ainsi disposé, et dont les résultats sont avantageux à tous égards.

Les plus grandes grilles de fours à réchauffer ont 1 mètre de longueur sur 0^{m}80 de largeur; plus généralement, ces dimensions sont respectivement de 0^{m}90 à 0^{m}95, et de 0^{m}70 à 0^{m}75.

Le rapport entre la surface de la grille et celle de la sole est de 10 à 25 ou de 10 à 30 au plus, et en général un peu plus grand pour les fours à réchauffer que pour les fours à puddler, parce que chaque point de la sole doit parvenir à la chaleur soudante.

La hauteur du pont de chauffe au-dessus de la sole est moindre de 4 à 5 centimètres que celle du pont des fours à puddler, afin que la flamme passe au travers des trousses réunies sur la sole. La voûte est un peu plus élevée au-dessus du pont, et plus surbaissée vers le rampant, pour rendre le chauffage plus uniforme.

Les dispositions de cendrier et de cheminée sont les mêmes que dans les fours à puddler.

L'aire des fours à réchauffer est généralement faite en briques réfractaires, posées de champ sur une voûte ou sur des plaques de fonte. Dans quelques usines, on fait encore usage d'aires en fonte recouvertes d'une couche de sable; mais cette disposition rendant l'entretien des fours plus difficile et plus dispendieux, la première est préférable.

Les fours à réchauffer n'ont pas de pont de floss, afin que les scories puissent s'écouler librement; on favorise même cet écoulement, en donnant à la sole une légère inclinaison vers le rampant.

Fours au bois et à la tourbe.

D'après les essais faits dans quelques usines, on peut se servir du bois et de la tourbe bien desséchés, soit pour le puddlage, soit pour le réchauffage du fer, mais alors la construction des fours doit être modifiée ainsi qu'il suit :

1°. La grille doit avoir environ moitié plus de surface, la grandeur de la sole restant la même, et sa profondeur au-dessous de la sole doit être portée à 50 ou 55 centimètres;

2°. La voûte doit être très surbaissée, et sa plus grande élévation au-dessus de la sole ne doit pas excéder 35 à 40 centimètres;

3°. La hauteur de l'ouverture au rampant doit être de 15 à 16 centimètres, la largeur restant la même.

4°. La hauteur du pont au-dessus de la sole doit être de 10 à 12 centimètres au plus.

Les essais n'ayant été nulle part assez prolongés pour que l'on ait pu étudier les meilleures formes et dimensions à donner aux fours, on ne doit regarder les données ci-dessus que comme des indications approximatives.

DES MARTEAUX.

On fait généralement usage, dans les forges à l'anglaise, du marteau *frontal*, c'est-à-dire du genre de marteaux dont le soulèvement s'opère par l'extrémité antérieure du manche.

Ces marteaux, représentés Pl. 17, se composent d'un long manche tout en fonte MM, *fig.* 1 et 2, faisant corps avec sa *croisée* GG. Cette dernière est munie de tourillons sur lesquels s'exécute le mouvement de rotation, et repose sur des supports à une hauteur telle, que le dessus du manche soit horizontal lorsque le marteau est au repos sur l'enclume.

Dans la tête du manche est pratiqué un *œil* ou *lumière o*, dans lequel s'engage la queue du marteau P.

Ce marteau, vu en dessous, *fig.* 9, Pl. 18, et en élévation, *fig.* 10, a sa panne composée de trois parties : l'une, *t*, que l'on nomme table, et sur laquelle on commence à cingler la loupe au sortir des fours à puddler; la seconde, *p*, qui sert à rassembler le fer et à le parer; et la troisième, *r*, qui sert particulièrement pour l'étirage. Ces deux dernières parties sont des reliefs prismatiques présentant la forme d'un T, et sont disposées perpendiculairement l'une à l'autre, de manière que l'ouvrier n'a pas besoin de changer de place pour ses différentes opérations.

L'enclume Q, *fig.* 1, Pl. 17, a sa panne composée de parties exactement semblables, et coïncidant avec les parties correspondantes du marteau.

L'enclume est fixée sur une pièce de fonte très lourde HH, que l'on nomme *chabotte*, et qui repose elle-même sur une forte plaque en fonte KK.

La tête du marteau porte deux oreilles E, E, ou quelquefois une seule du côté du marteleur, pour refouler les bouts de la pièce.

Le marteau est soulevé par des cames CC au nombre de cinq, fixées sur

une forte bague en fonte, laquelle est mise en mouvement par un arbre également en fonte.

Tout le système est monté et solidement boulonné sur trois ou quatre lits de charpente, dont l'élasticité, détruisant une partie de l'effort que produit le choc, obvie aux ruptures, qui, sans cela, seraient beaucoup plus fréquentes. Cette charpente fatigue beaucoup, et il est nécessaire que la chabotte soit placée sur une grande et forte plaque, pour que le bois ne se réduise pas en fibres isolées par l'effet de la percussion.

Sous la charpente est un massif de maçonnerie très solide, construit avec de forts libages équarris et réglés par assises.

L'arbre de la bague représenté Pl. 18, *fig.* 19 à 23, porte à l'une de ses extrémités A une manivelle M, *fig.* 24 et 25, qui reçoit le mouvement de la bielle d'une machine à vapeur. Sur ce même arbre est placé en V, un volant de 5m45 de diamètre, dont la jante pèse environ 6,500 kil. Ce volant puissant est indispensable pour la continuité et la régularité du martelage.

Le poids du manche de marteau est de 3,500 kil., et le marteau lui-même pèse 400 à 425 kil., mais les cames ne soulèvent qu'environ la moitié du poids total. Le poids de la chabotte, ainsi que celui de la bague à cames, est d'environ 4,000 kil., et ne peut être moindre, sans que l'effet des chocs nuise à la marche du marteau et à la durée de la construction.

Le marteau frappe 80 à 90 coups par minute, et sa levée est de 35 à 40 centimètres.

On fait quelquefois usage de manches dont le poids est de 4,000 à 4,500 kil., mais il résulte de l'emploi de masses aussi lourdes, des ruptures de manche ou de marteaux beaucoup plus fréquentes, et l'on est obligé, pour obtenir la continuité et la régularité du mouvement, de placer le volant sur un second arbre, et de doubler à peu près sa vitesse. Le cinglage de fer ne se fait pas mieux, et souvent la loupe vole en éclat, ce qui occasionne plus de déchets et oblige à réchauffer le fer.

On voit, par les *fig.* 1 et 2, Pl. 17, que le manche est renforcé en hauteur et en largeur près de la tête, ou plus exactement vers le point que l'on nomme *centre de percussion*. Ce renfort est nécessaire pour éviter les ruptures, qui se font presque toujours en ce point, et pour augmenter l'effet de la percussion sur le fer.

Dans quelques grandes usines, on a deux marteaux cingleurs, afin que le travail ne soit pas arrêté en cas de rupture de l'un d'eux. Dans ce cas, on les place des deux côtés de la bague à cames, et cette dernière porte deux rangs

de cames. On la fait tourner d'un côté ou de l'autre, selon que l'on veut se servir de l'un ou de l'autre marteau, et il n'y a jamais qu'un marteau en mouvement.

Pour arrêter le marteau sans arrêter la machine motrice qui souvent sert à d'autres usages, on saisit le moment où il parvient à sa plus grande levée, qui excède toujours un peu celle que lui donneraient les cames marchant lentement, et l'aide-marteleur le soutient dans cette position, en plaçant debout, entre l'une des oreilles et la chabotte, une barre de fer que l'on nomme *valet, bonhomme* ou *servante*. Pour remettre le marteau en train, il suffit de présenter sous son mentonnet *a* une plaque de fer emmanchée en bois. Au passage de la came, le marteau est un peu soulevé, l'aide-marteleur enlève le valet, et le marteau retombe sur l'enclume.

Lorsqu'on veut étirer le fer au marteau, ce qui ne se pratique que sur certaines pièces que l'on veut corroyer pour quelques parties de machines ou pour quelque fabrication spéciale, on se sert de *martinets frontaux*. Ce sont des marteaux en tout semblables aux marteaux cingleurs, mais plus légers et marchant plus vite.

Le poids du manche n'excède pas dans ce cas 2,000 kil.; les pannes de marteau et d'enclume ont la forme particulière à l'usage qu'on en veut faire, et la vitesse de percussion varie de 140 à 180 coups par minute.

Dans quelques usines, le soulèvement de ces martinets ne se fait pas par la tête, mais près du renflement inférieur du manche. La bague à cames est placée sous le manche, et dans le même sens, et les cames le soulèvent par un mentonnet assez saillant pour que le manche puisse retomber sans toucher à la bague.

Le nombre de cames varie de deux à quatre, et la levée du marteau excède rarement 16 à 20 centimètres.

Cette disposition a l'avantage d'exiger moins de place, de laisser libre tout le pourtour du marteau, mais elle oblige à allonger le manche pour qu'il ne bascule pas, ou à employer des supports à chapeaux, et parait occasionner de plus fréquentes ruptures.

DES CISAILLES.

Les cisailles ne sont autre chose que de très forts ciseaux à deux lames, dont on se sert, soit pour couper en morceaux le fer avec lequel on veut

préparer des trousses, soit pour *affranchir* les barres fabriquées, c'est-à-dire en rogner les bouts, qui sont toujours défectueux.

Ces outils, représentés par la Pl. 21, se composent d'une partie fixe solidement boulonnée sur une charpente de fondation, et portant l'axe de rotation de la cisaille; et d'une partie mobile que l'on nomme *bras* de cisaille.

Dans la partie fixe on distingue le *grand support,* que l'on nomme aussi *bloc* ou *support à semelle* AS, AS, et le *petit support* ou *poupée* B. Cette poupée est mobile entre deux ergots EE que porte la semelle SS, afin de pouvoir la faire varier, selon l'épaisseur que présente le bras de cisaille au renfort qui est traversé par l'axe de rotation.

La plus courte partie D du bras de cisaille se nomme la *tête,* la plus longue CC porte le nom de *queue* dans les cisailles disposées comme celle de la *fig.* 1, de *levier* dans celles que représente la *fig.* 10, et que l'on nomme cisailles *droites.*

A la tête et au grand support sont adaptés des couteaux en acier ou fortement acérés à leur tranchant, entre lesquels on engage les barres à couper.

On donne le mouvement aux cisailles à queue, au tirande ou bielle horizontale KL, *fig.* 1, dont l'autre extrémité s'adapte à une manivelle ou à une roue d'engrenage portant un bouton sur l'un de ses bras.

Quelquefois on place deux ou trois cisailles sur la même ligne, en reliant les queues par des tiges en fer articulées. Elles sont alors toutes conduites par la même bielle.

Les cisailles à queue s'emploient ordinairement à rogner les tôles et à affranchir les fers dont l'épaisseur ne dépasse pas six à sept lignes. Par la manière dont le mouvement leur est donné, elles marchent toujours, lors même qu'elles ne travaillent pas.

Les cisailles droites, beaucoup plus fortes que les premières, servent en général à couper les fers dégrossis pour en faire des trousses, et les fers finis de gros échantillons. Elles peuvent couper des fers carrés ayant jusqu'à 6 à 7 centimètres de côté.

Pour faire marcher ces cisailles, on se sert d'un excentrique circulaire lorsqu'elles ne doivent donner qu'un coup par révolution de l'excentrique; et d'une ellipse tournant sur son centre lorsqu'elles doivent donner deux coups. On peut les arrêter en plaçant un valet sous le levier, au moment où il est parvenu à sa plus grande hauteur.

Afin de pouvoir toujours couper les fers de trousses à la longueur voulue, on adapte au grand support, au moyen des trous qui y sont réservés, un arrêt contre lequel on pousse les barres à mesure qu'on les coupe. Cet arrêt peut d'ailleurs être indépendant du support.

La vitesse des cisailles est de 20 à 24 coups par minute pour les grandes, et de 30 à 40 au plus pour les petites.

Toutes les pièces des cisailles doivent être faites avec les meilleures matières, parce qu'elles ont souvent à supporter un effort très considérable.

Pour engager le fer dans les cisailles, on le présente par l'extérieur du grand support, dont le dessus forme un point d'appui invariable.

DES LAMINOIRS.

Les laminoirs dont on se sert pour l'étirage du fer en barres de diverses formes et dimensions, sont tous disposés d'une manière semblable. Chaque équipage se compose de deux *cages* ou *fermes* en fonte A, A, Pl. 19, *fig.* 1 et 2, et *fig.* 1 à 5, Pl. 20, garnies de leurs vis et coussinets, et de deux ou trois cylindres superposés, portant des *rainures* ou *cannelures* rondes, plates, carrées ou en forme d'ogive, selon l'espèce de fer que l'on veut fabriquer. L'ensemble de ces cylindres forme ce que l'on appelle un *jeu*.

Les cages, coulées en fonte d'une seule pièce, varient de dimensions selon les diamètres des cylindres, et sont reliées entre elles par de forts boulons à écrous ou à clavettes, comme l'indiquent les Planches ci-dessus, ainsi que les Pl. 23 et 24. Elles sont fixées très solidement, soit sur une forte charpente de fondation, soit sur une grande plaque ou *lit* en fonte NN, Pl. 23 et 24, boulonnée elle-même sur cette charpente. Cette dernière disposition, indiquée par les *fig.* 9 à 11, Pl. 25, est préférable, parce que les cages ont beaucoup plus de stabilité, et que le mouvement des cylindres ne peut les ébranler, ainsi que cela arrive lorsqu'elles sont montées immédiatement sur bois. Il en résulte en outre l'avantage que l'une des fermes peut être écartée ou rapprochée de l'autre avec facilité, ce qui est indispensable lorsque les jeux de cylindres n'ont pas la même longueur.

L'espace compris entre les charpentes de support des cages ou des lits est entièrement vide, et forme une fosse qui règne dans toute la longueur des laminoirs. Cette fosse reçoit l'eau dont on se sert, ainsi que les battitures; elle est d'ailleurs nécessaire pour placer les boulons d'attache et pour serrer les écrous.

On établit quelquefois les équipages de laminoirs sur une maçonnerie en pierres de taille, mais le montage sur charpente est meilleur, parce que l'élasticité du bois obvie en partie aux ruptures. Tout le pourtour de cette charpente est revêtu de maçonnerie, pour retenir les terres et pour empêcher tout mouvement latéral.

Dans tous les cas, on doit prévenir les moindres tassemens, en fondant les fosses de laminoirs sur un bon massif de maçonnerie, reposant au besoin sur un grillage ou sur des pilotis.

Les *tourillons* ou *collets* sur lesquels tournent les cylindres sont placés sur des coussinets en bronze, et sont maintenus latéralement, ainsi qu'en dessus, par d'autres coussinets de même métal. Chaque cage est munie d'une vis de pression en fer, à filets carrés, se mouvant dans un écrou en bronze ou en laiton. Cette vis sert à maintenir les cylindres l'un sur l'autre, lorsque leur position a été convenablement fixée.

En général, un équipage de laminoir n'a que deux cylindres, comme l'indique la Pl. 19 pour les laminoirs dégrossisseurs, et la Pl. 23 pour les laminoirs marchands; mais lorsqu'on fabrique des fers de petit échantillon, on se sert de trois cylindres, parce qu'il faut accélérer le travail pour pouvoir étirer le fer en une seule chaude. Cette disposition, qui ne s'applique qu'aux petits laminoirs, est représentée par la Pl. 24.

Pour le dégrossissage du fer, on n'emploie souvent qu'un seul train ou équipage de laminoirs; mais pour la fabrication des fers marchands et des petits fers, on place deux, trois et même quelquefois quatre équipages à la suite l'un de l'autre, selon la force du moteur et les besoins de la fabrication. Dans les laminoirs marchands et les petits laminoirs, le jeu de cylindres le plus rapproché du moteur est disposé pour ébaucher le fer, les jeux suivans sont destinés à le finir.

En tête des équipages est placé un jeu de pignons PP, monté dans des cages à chapeau BB, Pl. 19, 23 et 24. Les axes des pignons et des cylindres correspondans sont placés sur la même ligne, et l'on établit la communication entre eux au moyen de petits arbres L, L, que l'on nomme *allonges*, et de *boîtes* ou *manchons d'accouplement* M, M.

Dans les équipages à deux cylindres, on imprime le mouvement par le pignon inférieur; dans ceux qui en ont trois, c'est le pignon intermédiaire qui est mis en communication avec la force motrice. Il est facile de voir que, par ces dispositions, les cylindres d'un équipage, pris deux à deux, tournent en sens inverse.

Les cylindres et leurs tourillons s'échauffant fortement par le contact du fer chaud et par le frottement, il est nécessaire de les rafraîchir par une aspersion d'eau. A cet effet, on place sur les fermes un chéneau ZZ, Pl. 23, *fig.* 1 et 2, dans lequel on entretient un courant d'eau fraîche; et de petits tuyaux *vx* amènent un filet continu sur les tourillons. Entre les fermes, on perce quelques petits trous dans le chéneau, pour faire arriver l'eau sur les cylindres. L'effet de cette aspersion est de conserver plus de dureté et de poli aux cylindres, de les empêcher de rompre aussi facilement, et de *décaper* les barres de fer, c'est-à-dire d'en faire détacher la couche d'oxide qui se forme par le contact de l'air.

Il est indispensable que toutes les parties d'un équipage de laminoirs soient faites en très bonne fonte; mais celle des cylindres doit être surtout très tenace, pour rendre les ruptures moins fréquentes, et à grain serré, pour que le poli s'en conserve mieux, et que l'on n'ait pas à réparer aussi souvent les surfaces travaillantes.

Montage des cylindres. Les cannelures des cylindres à fers plats s'emboîtent réciproquement, comme on le voit par la *fig.* 2 de la Pl. 24; mais celles des cylindres à fers ronds et carrés sont creusées par moitié dans les deux cylindres contigus. Les cannelures des premiers coïncident nécessairement, tandis que celles des seconds cessent de coïncider si l'un des cylindres prend un mouvement latéral. Pour obvier à ce déplacement, on fait joindre les coussinets contre les épaulemens des cylindres, et on cale les empoises, ou bien on adapte aux montans des cages des vis de pression latérales *r, r, fig.* 2 et 6, Pl. 24, pour maintenir les empoises dans la position voulue. Cette disposition est surtout nécessaire dans les équipages à trois cylindres, dont l'ajustage est plus difficile; mais comme, malgré toutes les précautions, les vis peuvent se déranger, elle n'atteint pas parfaitement le but.

Pour maintenir la coïncidence exacte des cannelures de cylindres à fers ronds et carrés, on a imaginé en Belgique de faire emboîter les extrémités de ces cylindres à la manière de ceux qui donnent les fers plats. Cette disposition, indiquée Pl. 25, *fig.* 16, est la plus simple et la meilleure.

Il faut que les cylindres des trains de laminoirs isolés ou placés bout à bout, ainsi que les pignons qui leur transmettent le mouvement, aient leurs axes bien horizontaux et placés dans un même plan vertical. On règle leur position au moyen de vis de pression *l, l, fig.* 1 et 3, Pl. 23, placées sur les faces des montans. Pour les cylindres dégrossisseurs, on ne fait pas

usage de ce moyen, parce que leur ajustage n'exige pas autant de précision, à raison de l'espèce de fer qu'on veut en obtenir.

Les bouts ou trèfles F des cylindres, ainsi que les allonges, doivent avoir un jeu de 6 à 7 millimètres dans les manchons, afin que si les cylindres se dérangent, il n'en résulte pas immédiatement rupture; et pour que la rupture, le cas échéant, porte le moins possible sur les cylindres, qui sont des pièces chères, on règle l'épaisseur des manchons de manière qu'ils cassent avant toute autre pièce.

Pour que le lamineur puisse engager les barres dans les cannelures, on place du côté de l'entrée des cylindres, et à peu près à la hauteur du fond des cannelures, une plaque HH, *fig.* 1, Pl. 20, que l'on nomme *tablier*. Cette plaque est en fonte ou en tôle forte, selon la longueur des cylindres et le poids des pièces en travail. A la sortie des cylindres, on place une autre plaque II, même *fig.* et *fig.* 2, Pl. 19, que l'on nomme plaque de *gardes*. Elle a pour but de recevoir le fer et de l'empêcher de s'enrouler autour du cylindre inférieur, ce qui arrive surtout pour les fers plats de petit échantillon; à cet effet, elle est découpée en languettes qui ont la même forme que les cannelures, et s'y engagent quelquefois à frottement doux.

Souvent dans les laminoirs marchands à fer plat, et toujours dans les petits laminoirs qui donnent cette espèce de fer, on substitue à la plaque de gardes des gardes en fer forgé, qui s'appuient dans le fond des cannelures. Ces pièces, disposées alors comme l'indiquent les *fig.* 2 à 4, Pl. 25, sont beaucoup plus commodes que les plaques dentelées.

Dans les jeux triples, *fig.* 1, Pl. 25, on adapte aussi des gardes au cylindre intermédiaire; et bien que ce ne soit pas d'un usage général, cette précaution, malgré toute l'adresse des ouvriers, n'en est pas moins bonne à prendre pour empêcher l'enroulement du fer et la rupture des cylindres.

Dans le laminage à deux cylindres, un aide-lamineur, à chaque passage, reçoit la barre à sa sortie, la repasse par-dessus le cylindre supérieur au lamineur, qui l'engage dans la cannelure suivante. Dans le laminage à trois cylindres, l'aide-lamineur, après avoir reçu la barre, l'engage entre les cylindres intermédiaire et supérieur; le lamineur la reçoit et la passe de nouveau dans les cylindres inférieurs. Pour que cette manœuvre puisse se faire, il faut que le bout de la barre, aussitôt dégagé, soit relevé à la hauteur nécessaire, ce qui se fait au moyen d'un levier à crochet manœuvré par un enfant, que l'on nomme *releveur*. Ce levier, placé du côté de l'aide-lamineur, est suspendu à une chaîne, et cette chaîne est attachée à la chappe

d'une poulie courante, qui roule sur une barre de fer placée parallèlement aux trains, dans la charpente de l'usine, en sorte que le releveur peut suivre facilement tous les mouvemens des lamineurs.

Dimensions et vitesses des cylindres. Les dimensions et vitesses des cylindres varient selon les fers à produire : les premières sont moindres et les secondes plus considérables pour les petits fers que pour ceux de fort échantillon.

On proportionne aussi la vitesse à l'état du fer : ainsi, dans les laminoirs dégrossisseurs et ébaucheurs, la compression doit être un peu lente, afin de mieux chasser les laitiers, rapprocher et souder les molécules du fer. Une vitesse trop considérable donnerait non seulement un fer moins épuré, mais encore ferait rompre les barres qui ont encore peu de ténacité.

Dans les cylindres finisseurs, au contraire, le fer étant déjà épuré et sa cohésion plus grande, une plus grande vitesse n'a aucun inconvénient, et elle est même nécessaire, parce que le fer se refroidit plus promptement.

Les laminoirs dégrossisseurs ont de 1^m60 à 1^m70 de table, c'est-à-dire de longueur entre les tourillons, et 0^m48 à 0^m50 de diamètre.

Lorsqu'ils sont employés immédiatement à comprimer les loupes au sortir des fours à puddler, sans qu'elles passent sous le marteau, on leur fait faire 16 à 18 tours par minute. S'ils ne servent qu'après un martelage préalable, on porte leur vitesse jusqu'à 22 ou 24 tours.

Le poids d'une paire de ces cylindres est d'environ 4,500 kil.

Les cylindres ébaucheurs ont de 1^m45 à 1^m55 de table, et 0^m36 à 0^m40 de diamètre; ils font de 70 à 80 révolutions par minute. La paire pèse à peu près 2,000 kil.

Les cylindres marchands ont 1^m10 à 1^m20 de table, 0^m35 et 0^m40 de diamètre, la même vitesse que les ébaucheurs, et pèsent 1,500 à 1,550 kil. la paire.

Les petits laminoirs portent de 0^m65 à 0^m70 de table; leurs diamètres varient de 0^m20 à 0^m24, et le jeu de trois cylindres pèse environ 620 kil.

Leur vitesse est très variable; la moindre est de 108 à 110 tours par minute, la plus ordinaire de 120 à 150, et la plus grande de 200 tours. Les vitesses de 150 à 200 tours sont sujettes à produire de fréquens accidens, et il parait préférable de rester dans les limites de 120 à 130 tours par minute.

Les cylindres préparateurs et ébaucheurs ne doivent pas avoir les diamètres moindres que ceux indiqués; s'ils étaient plus petits, le fer serait

plus étiré que comprimé; sa surface serait pailleuse et gercée après l'ébauchage, et ces défauts subsisteraient dans les fers finis.

Les diamètres des cylindres à fers carrés et ronds ne sont pas ordinairement les mêmes pour le cylindre supérieur et pour l'inférieur; on augmente un peu le diamètre du cylindre supérieur (de 6 lignes environ), afin que, par son plus grand développement de surface travaillante, il allonge davantage le dessus des barres, et les force ainsi à rabattre sur les gardes. Par là on évite l'enroulement du fer autour du cylindre supérieur, ce qui est un des plus graves accidens du laminage.

Dans le jeu de trois cylindres pour fers ronds et carrés, lorsqu'on fait usage des gardes inférieures et supérieures, le cylindre supérieur doit avoir le plus grand diamètre; et les deux autres un diamètre successivement moindre. On donne ordinairement 8 pouces (0^m216) de diamètre au premier, 7 pouces $\frac{3}{4}$ (0^m209) au cylindre intermédiaire, et 7 pouces $\frac{1}{2}$ (0^m203) au cylindre inférieur. Par cette disposition, le fer est toujours rabattu sur les gardes.

Quand on ne fait usage que de gardes inférieures, ainsi que cela a lieu le plus souvent, on place le cylindre de plus fort diamètre dans le milieu; les deux autres peuvent être égaux, et avoir un diamètre moindre de 3 lignes. Dans ce cas, le fer peut s'enrouler sur le cylindre supérieur, et l'ouvrier doit avoir la plus grande attention pour le saisir à sa sortie des cannelures.

Les cylindres à fers plats se composent de parties saillantes ou *rondelles*, et de *cannelures* qui s'engagent les unes dans les autres. La compression du fer se fait entre les rondelles du cylindre supérieur ou *mâle*, et les cannelures du cylindre inférieur ou *femelle*. Ce dernier a ordinairement 4 à 5 centimètres de plus en diamètre extérieur que le mâle, afin de l'emboiter. On est dans l'usage de creuser les cannelures du cylindre femelle de toute l'épaisseur des barres de fer, en sus de ce qu'il faut pour l'emboitement. Il en résulte que le diamètre des parties travaillantes du mâle est toujours plus grand que celui des parties correspondantes du cylindre femelle, et que le fer, déjà disposé à suivre la cannelure dans laquelle il est engagé, rabat sur les gardes et ne peut s'enrouler.

Dans les petits laminoirs à trois cylindres, la femelle est placée au milieu, et les diamètres des surfaces travaillantes se déterminent aussi de manière à éviter l'enroulement du fer.

Dans quelques usines, et surtout en Belgique, on n'a pas adopté cette

différence de diamètres pour les parties travaillantes, parce que les deux cylindres ayant même vitesse de rotation, il y a frottement exercé par la surface qui a le plus de développement, frottement que l'on prétend être préjudiciable au nerf du fer, outre qu'il produirait des arrachemens. Cela peut arriver en effet si les différences de diamètres sont trop grandes.

Disposition et tracé des cannelures. Quelles que soient les dimensions des cylindres, les cannelures les plus profondes doivent être le plus rapprochées des tourillons, la résistance du métal, à diamètre égal, étant bien plus grande en ces points que vers le milieu des cylindres. Il en est de même des cannelures larges pour les fers minces, qui, plus froids, exigent une très forte pression.

Pour les fers ronds et carrés, les cannelures diminuent successivement de grandeur en tous sens.

Pour les fers plats, on fait varier la hauteur des cannelures, en leur donnant une largeur constante pour un même échantillon, ou en augmentant légèrement cette largeur depuis la première cannelure jusqu'aux cannelures à finir. Dans le premier cas, on donne un peu d'*entrée* aux cannelures du cylindre femelle, c'est-à-dire qu'on les évase un peu, afin que le fer puisse s'en dégager plus facilement. Dans le second, cet évasement n'est pas nécessaire.

La loi de décroissement des cannelures pour fers ronds et carrés ne dépend, en quelque sorte, que des dimensions de ces fers. Le décroissement des côtés ou des diamètres marche ordinairement de 2 en 2 lignes, depuis 30 lignes (maximum ordinaire) jusqu'à 24 (1); mais au-dessous de cette dimension, on ne le fait plus varier que par ligne, afin d'avoir tous les échantillons nécessaires. On modifie d'ailleurs le décroissement pour les gros fers, comme pour les petits, selon les échantillons finis qu'il faut fabriquer; mais, dans tous les cas, le décroissement des sections de cannelures ne doit pas dépasser le rapport de 15 à 11, ou le décroissement des côtés et diamètres celui de 12 à 10.

Les fers ronds et carrés de 9 lignes et au-dessous, jusqu'à 4 lignes, se font sur les petits laminoirs; et l'on fait décroître les cannelures par demi-ligne. Au-dessous de 4 lignes, on se sert des laminoirs à tringles ou gid-rolls, représentés *fig.* 3 et 4, Pl. 24.

(1) On se sert ici des anciennes mesures, parce qu'elles sont encore les seules usitées dans les forges pour échantillonner les fers.

On trace les cannelures carrées et rondes de manière que chacune d'elles représente exactement la moitié d'un carré ou d'un cercle; mais dans l'exécution on abat un peu les arêtes, de manière à allonger les diagonales et diamètres horizontaux, en sorte que les cannelures finies ont les formes *iklm, pqr, fig.* 17, Pl. 25. Le but de ces évasemens est d'empêcher que le fer, en passant d'une cannelure à la suivante, soit pincé entre les cylindres, ce qui produirait des bavures, lesquelles rendraient le fer défectueux, malgré la précaution que l'on a de faire faire un quart de révolution aux barres à chaque passage.

L'évasement pour chaque cannelure est à peu près égal à la différence entre sa hauteur et celle de la cannelure qui la précède. On laisse entre les cannelures un intervalle de 4 à 6 lignes, non compris l'évasement.

Pour les fers plats, le rapport des décroissemens successifs de sections est encore celui de 15 à 11, et quelquefois celui de 5 à 4 lorsque les machines motrices n'ont que la force strictement nécessaire, ou que le fer n'a que peu de ténacité. La largeur des cannelures étant constante ou peu variable, ces rapports sont ceux des épaisseurs successives des barres, et ils sont suivis aussi rigoureusement que le comportent les dimensions des fers à fabriquer, afin d'employer le moindre nombre possible de cannelures. On accélère ainsi la fabrication, ce qui est d'autant plus nécessaire que les fers plats se refroidissent plus promptement, et on économise le matériel très dispendieux des cylindres, parce qu'alors chacun d'eux peut porter un plus grand nombre d'échantillons.

Lorsqu'on fait varier la largeur des cannelures, l'accroissement successif est au plus égal aux $\frac{2}{100}$ de l'épaisseur qu'a le fer avant d'y être engagé. Dans cette limite, les arêtes des barres se conservent sans gerçures, et la pression latérale dans les cannelures est suffisante pour aplatir les côtés.

Dans le cas de largeur constante des cannelures, le fer plat se fabrique avec du fer ébauché en carré, dont le côté est égal à la largeur du fer à obtenir. Dans le cas d'accroissemens successifs des cannelures, le fer carré dont on se sert a des dimensions moindres, la dépression ou l'écrasement marche un peu plus vite, et presque toujours on peut économiser une cannelure.

Le calcul du nombre de cannelures nécessaires pour obtenir un fer plat de dimensions données, est assez simple dans le cas de largeur constante.

Soit e l'épaisseur du fer à obtenir, l sa largeur ou le côté du fer carré à

employer, n le nombre de cannelures cherché, et supposons qu'on fasse usage du rapport de décroissement $\frac{11}{15}$.

La hauteur de la première cannelure sera $l\frac{11}{15}=h$; celle de la seconde, $h\frac{11}{15}=l(\frac{11}{15})^2=h'$; celle de la troisième, $h'\frac{11}{15}=l(\frac{11}{15})^3$.....; la hauteur de la neuvième ou dernière sera $l(\frac{11}{15})^n=e$; d'où $e(\frac{15}{11})^n=l$.

Connaissant donc l et e, on en conclura le nombre n de cannelures à employer.

Supposons qu'on veuille réduire du carré de 24 lignes en plat de 24 lignes sur 6; on aura $l=24$ et $e=6$; d'où $6(\frac{15}{11})^n=24$,

et $$n=\frac{\log.24-\log.6}{\log.15-\log.11}=\frac{1,380-0,778}{1,176-1,041}=4,46.$$

Lorsqu'on trouve pour n un nombre fractionnaire, on prend le nombre entier immédiatement supérieur, à moins que la fraction ne soit très petite. Dans le cas où l'on prend n plus grand, on diminue la dépression dans les dernières cannelures; et lorsqu'on réduit la valeur de n, on augmente un peu la dépression dans les premières cannelures, où le fer est à une plus haute température. Pour l'exemple donné ci-dessus, on peut prendre le nombre des cannelures égal à quatre ou à cinq, selon la force des machines et la nature du fer.

Dans la pratique des ateliers, on ne fait guère usage des tables de logarithmes pour la recherche du nombre de cannelures. On se contente de faire des divisions successives dont le rapport de décroissement est le diviseur; et le nombre de divisions que l'on a faites pour obtenir à peu près l'épaisseur voulue détermine le nombre de cannelures à employer, en même temps que chacune d'elles donne une épaisseur de fer.

Ainsi les décroissemens successifs d'épaisseur seraient ici, $24^{l}(\frac{11}{15})=17^{l}6$; $17,6(\frac{11}{15})=12,9$; $12,9(\frac{11}{15})=9,46$; $9,46(\frac{11}{15})=6,94$; $6,94(\frac{11}{15})=5,09$; et l'on voit qu'il faut quatre à cinq opérations pour obtenir à peu près l'épaisseur voulue, et par suite quatre à cinq cannelures.

Si l'on veut travailler à quatre cannelures, on peut prendre pour épaisseurs successives des barres, les nombres 16, 11, 8, 6; et pour travailler à cinq cannelures, les nombres $17\frac{1}{2}$, 13, 10, $7\frac{1}{2}$, 6.

Si, dans l'exemple précédent, on prend $\frac{3}{4}$ pour rapport de décroissement, on trouve qu'il faut employer six cannelures.

Dans le cas des cannelures variables dans les deux sens, il faut chercher à la fois l'échantillon de fer carré et le nombre de cannelures à employer. On peut y parvenir rigoureusement, mais outre qu'une exactitude mathé-

matique est inutile, le calcul est trop compliqué et trop difficile pour pouvoir être employé (1). En pratique, on prend le côté du fer carré, plus petit de $\frac{1}{9}$ à $\frac{1}{10}$ que la largeur de fer qu'on veut avoir, et on détermine le nombre de cannelures comme précédemment. Ensuite, on répartit la différence des largeurs par progression décroissante entre toutes les cannelures. Ainsi, pour fabriquer du fer plat de 24 lignes sur 6, on prendrait du carré ébauché de 21 lignes, et il faudrait quatre cannelures dont les largeurs successives seraient 22 $\frac{1}{2}$, 23 $\frac{1}{4}$, 23 $\frac{3}{4}$ et 24 lignes. L'expérience est en quelque sorte le seul guide dans ces sortes d'opérations.

Lorsqu'on doit laminer des fers durs ou aciéreux, le décroissement des sections de cannelures doit suivre le rapport de 5 à 4; et pour le laminage de l'acier, il ne faut pas s'éloigner du rapport de 9 à 7. Ce dernier, employé par M. Walter pour la confection des laminoirs de l'aciérie du Sault du Sabot, près Toulouse, a donné de très bons résultats.

Pour la fabrication des fers larges et minces, si l'on prenait du fer carré, il faudrait un grand nombre de cannelures, et il serait impossible de finir les barres en une seule chaude. Dans ce cas, on se sert de fer dégrossi à une largeur convenable, et dont l'épaisseur est 3 à 4 fois celle que doit avoir le fer fini.

On peut, sur les mêmes cylindres, obtenir des barres finies de diverses épaisseurs; il suffit pour cela de faire varier leur écartement.

(1) Voici ce calcul : soit e l'épaisseur et l la largeur du fer fini, x le côté du fer carré dont on part, n le nombre de cannelures nécessaire, et r le rapport de décroissement $\frac{14}{11}$ ou $\frac{5}{4}$. On a, comme précédemment, $er^n = x$, et les épaisseurs du fer seront $\frac{x}{r}$ à la première cannelure, $\frac{x}{r^2}$ à la seconde, $\frac{x}{r^n}$ à la n^{ième} ou dernière. Les élargissemens successifs seront $0{,}09x$ à la première cannelure, $0{,}09\frac{x}{r}$ à la seconde, $0{,}09\frac{x}{r^2}$ à la troisième, $0{,}09\frac{x}{r^{n-1}}$ à la n^{ième}. La largeur primitive x sera donc devenue, à la dernière cannelure, $x + 0{,}09x + 0{,}09\frac{x}{r} + 0{,}09\frac{x}{r^2} + \ldots\ldots + 0{,}09\frac{x}{r^{n-1}}$, et sera égale alors à la largeur l du fer. On a donc $x\left\{1+0{,}09\left(1+\frac{1}{r}+\frac{1}{r^2}+\frac{1}{r^3}+\ldots\ldots+\frac{1}{r^{n-1}}\right)\right\} = x\left(1+0{,}09\frac{1+r^n}{(1-r)r^{n-1}}\right) = l$; mettant pour x sa valeur er^n, il vient $er^n\left(1+0{,}09\frac{1+r^n}{(1-r)r^{n-1}}\right) = l$, équation dont la solution donnerait diverses valeurs pour n, lesquelles, étant substituées dans l'équation $x = er^n$, détermineraient les échantillons carrés correspondant à chaque nombre de cannelures. On voit, par cette analyse, qu'il y a plusieurs moyens de parvenir au même résultat.

Lorsque, sur un même jeu de cylindres, on doit fabriquer des fers de diverses largeurs, mais de même épaisseur, on peut supprimer la cannelure à finir de chaque échantillon, et on remplace toutes ces cannelures par une partie cylindrique *ss*, *fig.* 2, Pl. 24, que l'on nomme *polissoir*. Les cannelures règlent alors la largeur du fer, et le polissoir le met à l'épaisseur voulue. On ne fait guère usage de cette disposition que pour les fers de moins de trois lignes d'épaisseur, et la dépression qu'ils reçoivent du polissoir n'excède pas une ligne.

Pour que les arêtes des barres soient moins sujettes à s'érailler dans le passage des premières cannelures, on ne fait point celles-ci à vives arêtes dans le fond, et on y réserve un petit chanfrein, comme l'indiquent les lettres *v*, *v*, *v*, *fig.* 12 et 14, Pl. 25.

Il n'y a pas de rapport fixe entre les largeurs des rondelles et celles des cannelures. Tantôt les rondelles ont une largeur égale à celle des cannelures, tantôt une largeur des deux tiers environ. Cela dépend surtout de l'espace que peut offrir la table du cylindre, mais on donne d'autant plus de largeur aux rondelles, que les cannelures voisines sont plus profondes.

On divise ordinairement les cannelures des ébaucheurs, soit pour laminoirs marchands, soit pour petits laminoirs, en séries séparées par des cannelures elliptiques *z*, *z*, *z*, *fig.* 1, Pl. 24, que les ouvriers nomment *plateuses*. Celles-ci ont pour but, non seulement d'établir une distinction plus facile à saisir entre les divers échantillons, mais encore de préparer le fer à passer dans les cannelures à fers plats. On élargit ainsi et on aplatit les barres sans érailler les arêtes, et on diminue le nombre de cannelures, qui, sans cette opération, serait nécessaire pour finir le fer.

Souvent, et dans le même but, on place des cannelures plateuses sur les cylindres à fers carrés.

Voici le tracé des cannelures à fers plats, avec ou sans différence dans les diamètres des surfaces travaillantes.

Dans le premier cas, on trace une ligne BB, *fig.* 14, Pl. 25, que l'on considère comme la ligne primitive de contact des cylindres. D'un côté de cette ligne, on porte le rayon extérieur du cylindre mâle pour déterminer la position de son axe AA ; de l'autre côté, on porte un rayon égal au premier ou plus grand de $\frac{1}{25}$ à $\frac{1}{30}$, pour tracer l'axe du cylindre femelle; ce rayon se nomme le *rayon primitif* du cylindre. On porte ensuite sur la ligne BB les largeurs successives des rondelles et des cannelures, puis on prend les profondeurs de ces dernières d'un même côté de cette ligne. Du côté

opposé on trace l'emboîtement des rondelles du cylindre femelle, lequel peut varier de 10 à 12 lignes pour les laminoirs dégrossisseurs et marchands.

Dans l'une ou l'autre manière de déterminer le diamètre primitif du cylindre femelle, les surfaces travaillantes de ce dernier, après les cannelures faites, ont un moindre diamètre que celles du cylindre mâle; mais la différence étant moins grande, lorsqu'on a pris le rayon primitif de $\frac{1}{25}$ à $\frac{1}{30}$ plus grand que le rayon extérieur du cylindre mâle, le fer est beaucoup moins sujet à se déchirer en passant dans les cannelures, et, par ce motif, il est préférable d'adopter ce tracé.

Dans le cas où les surfaces travaillantes des deux cylindres doivent avoir les mêmes diamètres, la ligne BB, *fig.* 12, étant tracée, on porte de part et d'autre des rayons égaux, puis après avoir porté sur cette ligne les largeurs des rondelles et cannelures, on trace ces dernières, de manière que la hauteur ou profondeur de chacune soit partagée en deux parties égales par la ligne primitive de contact BB.

Dans ce système, les diamètres extérieurs des cylindres ne peuvent plus être uniformes; et pour que leur emboitement soit suffisant, le diamètre doit varier pour chaque rondelle, ou tout au plus de deux en deux. Les cylindres exigent plus de main-d'œuvre pour le tournage, et sont d'une exécution plus difficile que dans le premier mode, mais s'ils présentent un avantage réel pour la fabrication, ces considérations ne doivent pas empêcher d'en adopter l'emploi.

Ce même système de tracé s'adapte aux laminoirs à trois cylindres.

Si, pour ces derniers, on veut faire usage de diamètres inégaux, on trace de la manière suivante : après avoir établi la ligne A'A', *fig.* 15, Pl. 25, comme axe du cylindre inférieur, on prend un rayon égal à 3 pouces $\frac{3}{4}$ pour déterminer la surface extérieure ou de contact DD de ce cylindre. Au-dessus de cette ligne, on porte la plus grande hauteur *mn* de cannelure, puis on prend un rayon *nl* égal au premier pour déterminer la position AA de l'axe du cylindre femelle, en sorte que les surfaces travaillantes ont les mêmes diamètres pour cette cannelure, dans laquelle l'enroulement ne peut avoir lieu vu les dimensions du fer. Les hauteurs des autres cannelures se prennent au-dessus de la ligne DD, et comme elles sont moindres que celles de la première, la plus grande surface travaillante se trouve toujours sur le cylindre intermédiaire, et fait rabattre le fer sur les gardes inférieures.

On donne au cylindre supérieur un diamètre de 7 pouces $\frac{3}{4}$, et chaque cannelure a une ligne ou une ligne et demie de moins en hauteur que la

cannelure inférieure correspondante, afin que le fer y subisse une légère dépression. L'emboîtement des cylindres est de 6 à 7 lignes. D'après ce tracé, le cylindre inférieur a 7 pouces $\frac{1}{2}$ de diamètre extérieur, le supérieur 7 pouces $\frac{3}{4}$, et l'intermédiaire de 9 pouces à 9 pouces $\frac{1}{2}$, selon les échantillons de fer à fabriquer. Les entr'axes de cylindres diffèrent entre eux de $\frac{1}{8}$ de pouce, mais cette différence se compense par un emboîtement inégal des dents de pignons, et par le jeu des manchons.

On peut faire varier légèrement les diamètres, en conservant toujours à peu près les mêmes rapports entre eux.

Le tracé des laminoirs dégrossisseurs se fait ordinairement comme si leur travail ne devait pas être précédé de celui du marteau, parce qu'une rupture de ce dernier peut en effet obliger à opérer ainsi. Ces laminoirs sont destinés à réduire les balles ou loupes des fours à puddler ou les lopins des marteaux, soit en barres à peu près carrées lorsque le fer ne doit être que réchauffé pour passer aux laminoirs marchands, soit en barres plates lorsque le fer doit être recoupé pour former des trousses.

Les balles ayant de 8 pouces à 8 pouces $\frac{1}{2}$ de diamètre, la première cannelure, *fig.* 14, Pl. 25, a de 9 pouces $\frac{1}{4}$ à 9 pouces $\frac{1}{2}$ en largeur, pour que la balle ne soit pas pincée par côté, et la plus grande hauteur de sa section, formée par la réunion des deux cylindres, est de 6 pouces 6 lignes. La surface de cette cannelure est brute afin de mieux saisir la balle, ou si elle est tournée, on y fait des entailles de distance en distance pour remplir le même but. Elle est formée par deux arcs de cercles égaux.

Afin de bien rassembler les parties de la loupe sans trop la serrer, ce qui quelquefois la fait rompre, la deuxième cannelure a 7 pouces $\frac{1}{4}$ à 7 pouces $\frac{1}{2}$ de largeur, et sa diagonale verticale est à peu près égale à celle d'un carré de 4 pouces de côté.

Les cannelures suivantes se règlent d'après les dimensions des fers à fabriquer, et ordinairement de manière à avoir des fers dégrossis de forme à peu près carrée, dont les côtés sont successivement 42, 36, 31, 27, 23 à 24, 20 et 18 lignes. Les profondeurs des cannelures sur chaque cylindre sont alors égales aux demi-diagonales de ces carrés, ou un peu moindres, afin que les angles des barres étant plus obtus, soient moins sujets à s'érailler.

La diagonale horizontale de chaque cannelure doit être un peu plus grande que la diagonale verticale de la cannelure précédente, afin que la barre à laquelle on fait faire un quart de révolution à chaque passage ne soit pas pincée par côté, et qu'il ne se produise pas de barbes, qui, refroidissant

plus promptement, se replient ensuite sans se souder. Ainsi la diagonale horizontale de la deuxième cannelure a 9 lignes de plus que la hauteur verticale de la première; la largeur de la troisième a 6 lignes de plus que la diagonale verticale de la seconde. Pour la quatrième cannelure et pour les suivantes, on trace la largeur de chacune égale à la hauteur de la précédente, et après que les cannelures sont creusées, on allonge les diagonales horizontales de 1 à 3 lignes, en coupant les arêtes en chanfrein d'autant plus grand, que les cannelures sont elles-mêmes plus grandes. On n'a indiqué ici les chanfreins que pour la quatrième cannelure.

Afin d'avoir des barres à angles obtus, on donne aux cannelures la forme d'une ogive double, qui se trace comme suit : Du point *b*, deuxième cannelure, *fig.* 14, avec un rayon *a b* égal à la largeur de la cannelure, on décrit un arc de cercle *ad*; de l'extrémité de la diagonale verticale avec le même rayon, un autre arc qui coupe le premier en *d*; ce point est alors le centre de l'arc *b c* qui forme un des côtés de la cannelure. L'autre côté *a c* se trace de la même manière.

Le même tracé s'applique à toutes les cannelures, et on laisse entre elles un espace de 5 à 6 lignes, les chanfreins étant coupés.

Le fer est rarement employé aux opérations ultérieures à l'état de barres carrées, et on le réduit ordinairement en barres plates de diverses dimensions, pour en composer ensuite les trousses ou paquets avec lesquels on fabrique le fer marchand de tout échantillon. Les dimensions de ces barres peuvent et doivent même varier, selon les échantillons usités dans chaque pays; cependant voici celles que l'expérience a indiquées comme étant généralement les plus convenables. Fers plats de 27 lignes de largeur sur 7 d'épaisseur, de 36 sur 7 à 8, de 42 sur 9, et de 48 sur 10 à 11.

Les cannelures pour fabriquer ces fers dégrossis se placent à la suite des cannelures ogives des dégrossisseurs, comme l'indique la *fig.* 14, se tracent et s'exécutent comme celles des cylindres marchands.

Le moindre rapport de décroissement des cannelures est celui de 15 à 11, et souvent l'on fait usage de celui de 16 à 10, afin de diminuer le nombre de cannelures, parce que le fer, devant être réchauffé et soudé ultérieurement, n'a pas besoin d'être exempt de gerçures à sa surface et sur ses arêtes.

L'usage le plus généralement adopté est d'avoir deux paires de dégrossisseurs qui ne diffèrent que par les cannelures plates, mais il serait préférable que l'une des deux paires portât les cannelures ogives seulement, et l'autre

toutes les cannelures plates. Les cylindres pourraient être moins longs, d'un diamètre un peu moindre, et seraient moins sujets à casser. Enfin, en montant les deux paires bout à bout, au lieu de n'en monter qu'une, on éviterait les déplacemens de cylindres pour changer les dimensions des barres plates.

Lorsqu'on passe le fer au marteau, les pièces cinglées ayant environ 4 pouces de côté, on les engage de suite dans la quatrième cannelure du dégrossisseur.

Assez souvent on observe, pour les cylindres dégrossisseurs, la même inégalité de diamètre que pour les cylindres finisseurs, mais cependant cette inégalité n'y est pas aussi nécessaire, à cause du fort échantillon des fers.

Les cylindres ébaucheurs doivent faire suite aux cylindres dégrossisseurs; ainsi, supposant que ces derniers donnent des fers de trousses dégrossis de 42 lignes, 36 lignes, etc., de largeur, les séries de cannelures des ébaucheurs doivent être disposées pour recevoir des trousses de ces dimensions. Les premières cannelures ne doivent pas trop comprimer le fer, afin d'éviter des gerçures qui produiraient ensuite des défauts. Par le même motif, les décroissemens ne doivent pas être trop forts, vu surtout qu'on ne passe qu'une fois dans chaque cannelure, excepté celle où l'on doit s'arrêter avant de passer aux laminoirs finisseurs.

Toutes les cannelures sont en ogives dont le tracé est le même que pour celles des dégrossisseurs, et leur décroissement ne doit pas excéder le rapport de 15 à 11.

Trois cannelures suffisent à la première série pour amener le fer à la dimension d'environ 30 lignes de côté. On sépare ordinairement cette série de la suivante par une cannelure ovale ou plateuse *z*, *fig.* 13, Pl. 25, dont on fait usage pour aplatir le fer avant de le faire passer dans les cannelures larges à fer plat, et qui sert en outre à marquer la séparation des séries.

La seconde série fait suite à la première, et ses décroissemens vont jusqu'à la dimension de 10 à 12 lignes de côté, comme l'indiquent les côtes placées près de chaque cannelure.

Dans le tracé des grandes cannelures, la diagonale horizontale est égale à la diagonale verticale de la cannelure précédente, et, en outre, on abat les arêtes d'une ligne à une ligne et demie. Dans les petites cannelures, le fer, déjà plus froid, prend moins d'extension latérale; et il suffit que la

diagonale horizontale, après l'adoucissement des arêtes, soit égale à la diagonale verticale de la précédente cannelure.

Une seconde paire d'ébaucheurs est nécessaire pour aller avec la deuxième paire de dégrossisseurs, et ses cannelures sont tracées d'une manière analogue à celle qu'on vient d'indiquer.

Laminoirs à fers profilés. Les fers plats, carrés et ronds, ne sont pas les seuls que l'on puisse fabriquer au laminoir; et en disposant les cylindres convenablement, on peut en obtenir des fers de formes très variées. Ainsi les fers plats à moulures d'un seul côté se font en ébauchant et terminant ces moulures dans le fond des cannelures du cylindre femelle, comme l'indique la *fig.* 19, Pl. 25. Les cornières ou fers dont la section forme une équerre à deux branches égales, et dont on se sert pour faire les angles des chaudières à vapeur, s'obtiennent en creusant une cannelure triangulaire dans le cylindre femelle, et formant une côte de forme semblable sur le cylindre mâle, etc.

Les rails de chemins de fer se fabriquent aussi au laminoir, malgré la grande variété de leurs formes, et avec un moindre nombre de cannelures qu'on le croirait au premier aperçu. Pour donner une idée de ce travail, on a représenté, *fig.* 18, le tracé des cylindres employés à l'usine de Terrenoire, pour la fabrication des rails du chemin de fer d'Andrezieux à Roanne (Loire).

Le fer étant mis en trousse et ébauché en carré de 32 à 33 lignes, comme l'indiquent les lignes ponctuées autour de la première cannelure, est successivement comprimé dans six cannelures dont la forme se rapproche peu à peu de la section du rail fini. Ces cannelures sont creusées partie dans le cylindre supérieur, partie dans le cylindre inférieur, et disposées de manière que le fer soit retourné sens dessus-dessous à chaque passage. Comme on ne peut éviter qu'il se forme des bavures à la jonction des cylindres, les cannelures sont tracées de manière que ces bavures s'effacent en passant d'une cannelure à la suivante. A cet effet, les milieux *st*, *st* de chaque section de cannelure varient de position, et se trouvent tantôt sur la ligne de jonction BB des cylindres, tantôt en dessus ou en dessous de deux à trois lignes. Les cannelures à finir, c'est-à-dire les deux dernières, sont prises en totalité dans le cylindre inférieur, à l'exception des parties qui font saillie en dessus du plat du rail.

Afin que les cylindres ne varient pas de position, celui de dessous est terminé par des rondelles *rr*, qui s'emboîtent dans celui de dessus.

Pour faire ces tracés, il faut rapporter tous les profils de cannelures sur la section du fer ébauché dont on doit faire usage, comme on le voit à la cannelure n° 1, et régler ces profils de manière à obtenir des allongemens à peu près égaux dans toutes les parties de chaque profil, sans trop s'éloigner des rapports de décroissement précédemment indiqués, et qui, dans ce cas, ne peuvent guère être suivis avec exactitude.

Cet exemple suffit pour faire voir comment on doit opérer pour tracer des cylindres destinés à produire des fers d'une forme quelconque.

SECTION IV.

TRAVAIL DU FER.

FINAGE OU MAZÉAGE DE LA FONTE.

Le finage ou mazéage de la fonte est l'opération par laquelle on met ce métal en fusion pour le blanchir, lui enlever une partie de son carbone, et le débarrasser d'une portion des matières étrangères qu'il contient. Cette préparation, tout-à-fait semblable au mazéage que l'on pratique dans certaines forges à l'allemande, se fait par des moyens analogues, et n'en diffère que par l'espèce de combustible employé.

Nature et forme des fontes. Toutes les fontes peuvent être soumises au mazéage, mais cette opération est surtout indispensable pour les fontes grises et noires. Selon leur nature, elles sont plus ou moins difficiles à mazer, et, à cet égard, leur classement est le même que celui indiqué en parlant de l'affinage au charbon de bois (IIe Partie, Section II, page 35).

Les fontes les plus propres au mazéage, c'est-à-dire dont le travail est le plus facile, sont en général les fontes truitées. Les fontes blanches sont sujettes à engorger le creuset, et les fontes grises en dégradent promptement la sole et les parois. Assez ordinairement on mélange les fontes de manière à former un composé dont le travail soit plus régulier et les résultats plus uniformes.

La fonte destinée à être truitée dans les fineries est toujours coulée en saumons ou petits gueusets de 0m80 à 0m90 de longueur, pesant de 50

à 60 kil. Sous cette forme, elle est plus maniable, et s'arrange mieux dans le chargement du creuset.

Combustible. Le seul combustible employé dans le travail des fineries est le coke. Sa qualité doit varier avec la nature des fontes. Avec des fontes dures ou longues à mazer, il faut employer un coke compacte; avec les fontes tendres, un coke léger sans être friable; dans tous les cas, il doit contenir peu de cendre. On ne fait généralement usage que du coke fabriqué en plein air; celui des fours étant trop compacte et plus sulfureux.

Confection des soles de fineries. On forme la sole en recouvrant le fond du creuset d'une couche de 8 à 11 centimètres d'épaisseur, soit en calcaire pur, soit en quarz grossièrement pilé et bien battu. Au premier fondage, cette couche est pénétrée par la fonte, qui s'y solidifie et forme une masse très dure. L'emploi du quarz augmente un peu les déchets au premier fondage, mais il a l'avantage de donner une sole très peu fusible, et qui, par là, contribue à la conservation du creuset.

Quoiqu'une sole ainsi faite soit susceptible d'une durée très prolongée, on est cependant obligé de la renouveler de loin en loin, parce que le poids de la fonte agissant sans cesse contre les bâches, les fait reculer à la longue, quelque solidité qu'on leur donne. Il en résulte que les plaques de tuyères avancent dans le creuset, et sont alors exposées à fondre.

Pour obvier à cet inconvénient, on est obligé de démonter le creuset, et on en retire alors la sole qui forme un massif de fonte à demi affinée de sable et de briques. Le poids de ce massif est de 800 à 900 kil., et s'élève quelquefois à 1,500 ou 2,000 kil. On le brise en morceaux, qu'on repasse ensuite par petites parties dans les opérations subséquentes.

Pour pouvoir casser ce massif, on fait arriver de l'eau dans le creuset, aussitôt après la dernière coulée de la semaine; la sole encore rouge se crevasse en tous sens, et se brise ensuite sans beaucoup d'efforts.

On reconstruit le fond du creuset en briques réfractaires placées de champ, on replace les bâches, et l'on refait la sole comme on l'a indiqué précédemment.

Mise à feu. La sole étant préparée, on fait du feu dans le creuset pour l'échauffer, puis on le remplit de coke jusqu'à 20 ou 25 centimètres au-dessus des tuyères, et l'on donne un vent faible pour allumer ce combustible. On opère de la même manière à la reprise du travail, au commencement de chaque semaine.

Outils de l'affineur. Il faut à l'affineur,

Douze à quinze grands ringards de 7 à 9 pieds de longueur pour travailler dans le creuset;

Trois ou quatre ringards à biseau acéré pour nettoyer les parois du creuset;

Deux crochets à poignée pour tirer les fontes au besoin, lorsque l'on charge le creuset, ou dans le commencement du travail;

Deux ringards à crochet plat pour boucher le trou de coulée;

Trois ou quatre curettes de tuyères;

Un perçoir et une ou deux petites masses pour ouvrir le trou de coulée, quand il est obstrué par de la fonte figée ou en partie affinée;

Deux longues hampes à pointe pour faire la coulée;

Deux grandes pelles et deux pelles ordinaires;

Des rasses ou paniers contenant 25 à 30 kil. de coke;

Un ou deux seaux, une brouette à coffre en tôle, et une bascule ou des balances pour peser la fonte.

Tous ces outils sont semblables à ceux des hauts-fourneaux, représentés Pl. 22, *fig.* 38 et suivantes, première partie.

Chaque feu de finerie est pourvu de deux bâches en fonte, dans lesquelles on rafraîchit les outils qui servent à travailler dans le creuset.

Chargement du creuset. La charge d'un feu à six tuyères est de 1,250 à 1,300 kil. en fontes dures ou longues à mazer, de 1,400 à 1,500 kil. en fontes moyennes, et peut aller jusqu'à 1,800 kil. pour les fontes tendres ou d'un travail facile. Si l'on fait des mélanges, ou si l'on n'emploie que des fontes truitées, la charge est ordinairement de 1,400 kil.

Supposant que l'on vienne de faire une coulée de fin métal, voici comment on procède au chargement. La coulée faite, on laisse agir le vent des tuyères pendant quelques instans pour nettoyer le creuset, puis le maître affineur rebouche le trou de coulée avec de la terre et du fraisil, qu'il tasse fortement, soit en dedans, soit en dehors de la plaque de devant, à mesure qu'un aide affineur la lui jette. Il amoncelle de la terre battue en avant du trou, afin de rendre le bouchage plus solide.

Pendant que cette opération se termine, les aides jettent dans le creuset des laitiers ou scories riches des fondages précédens (1), puis les recouvrent

(1) On peut aussi employer des scories de martelage ou les battitures des laminoirs dégrossisseurs, mais on doit les réserver pour les fontes dures à mazer, parce qu'elles accélèrent trop l'opération pour les autres fontes. On ne doit jamais employer les scories de fours

de coke jusqu'à 20 centimètres environ au-dessus des tuyères; ou bien ils commencent par charger le coke, et forment une couche de scories par-dessus. Ces deux modes sont à peu près identiques pour le résultat définitif. On charge alors la fonte en plaçant les gueusets dans le sens de la longueur du creuset, et l'on en forme des couches alternatives séparées par du coke, puis on recouvre le tout de quelques rasses de ce combustible. Cette opération dure vingt à vingt-cinq minutes, et lorsqu'elle est terminée on donne le vent.

Conduite du travail. Bientôt la fonte commence à entrer en fusion, et le maître affineur a soin de soulever de temps en temps la charge pour la faire descendre régulièrement. La fusion est achevée au bout d'environ une demi-heure. Pendant ce temps, les aides enlèvent les scories et le fin métal de l'opération précédente.

Lorsque toute la fonte est descendue, l'affineur sonde le creuset, ramène les parties non fondues devant les tuyères, brasse le métal pour renouveler les surfaces exposées au vent, et pour le rendre plus homogène. Il veille aussi à ce qu'il ne se forme pas d'engorgemens, et détache des parois et du fond du creuset les parties qui pourraient s'y attacher. Ce travail dure vingt-cinq à trente minutes, et alors le mazéage est pour l'ordinaire sur le point d'être achevé, à moins qu'on ne traite des fontes dures. Dans ce dernier cas, l'affineur est obligé de brasser le métal une seconde fois, et souvent cette opération dure autant que la précédente.

Pendant ce temps, les aides brisent le fin métal de la précédente coulée, préparent le coke pour l'opération suivante, nettoient les lingotières, les couvrent d'un peu de terre ou d'argile délayée pour que le métal ne puisse y adhérer, nettoient les tuyères, et repoussent avec leurs curettes les morceaux de coke qui pourraient les obstruer.

L'affineur reconnaît que l'opération est suffisamment avancée, au degré de fluidité du métal et des scories, mais surtout à la couleur de ces dernières. Elles doivent être très fluides, d'un rouge blanc, et ne pas adhérer au ringard lorsqu'on le retire du creuset. A ces indices, le maître affineur juge que le mazéage est terminé, et donne le signal de la coulée.

Les aides débarrassent le devant de la plaque du creuset, forment dans le sable une rigole pour conduire la fonte dans la lingotière, et placent un

à puddler. On a vu, dans la section relative à l'affinage au charbon de bois, en quoi consiste l'action des scories riches.

ringard en travers dans les crans des plaques formant l'embrasure du chio. Le maître affineur, appuyant sur ce ringard sa hampe ou son perçoir, débouche le trou de coulée, et la fonte ainsi que les scories s'écoulent dans la lingotière. On ne laisse à cette dernière qu'une longueur telle, que la plaque de fin métal n'ait pas plus de 5 à 6 centimètres d'épaisseur. Le vent doit agir pendant la coulée, parce qu'il aide à vider le creuset; et un aide, placé à l'arrière du foyer, facilite encore l'écoulement des matières en agitant la fonte, et en passant son ringard par le trou de coulée.

Aussitôt que le creuset est nettoyé, on le recharge comme on l'a dit précédemment.

Pendant que la fusion de cette charge s'opère, les aides jettent de l'eau en abondance sur le laitier qui recouvre le fin métal dans la lingotière; ce laitier se boursoufle, se refroidit et se sépare ensuite facilement de la plaque de métal. Ils soulèvent cette plaque, et au moyen de rouleaux en fonte, la font couler dans la bâche d'eau froide qui suit la lingotière. Là, elle se fendille de manière à pouvoir être cassée facilement.

Le finage s'exécute ordinairement sans addition de matières étrangères; mais dans quelques cas leur emploi est avantageux, soit pour accélérer, soit pour retarder l'opération.

Ces matières sont la chaux, les battitures, l'oxide de fer et l'oxide de manganèse; elles agissent ici comme dans l'affinage au charbon de bois (*voyez* Sect. II, pag. 33 et 54).

Qualités du fin métal. Le fin métal, pour être facilement converti en fer, doit être caverneux ou criblé d'une multitude de petites cavités jusqu'au tiers, ou au plus jusqu'à moitié de son épaisseur. On peut juger de sa qualité par l'aspect qu'il présente à la coulée. S'il dégage peu d'étincelles en sortant du foyer, le finage est incomplet, le métal est peu ou point caverneux, le puddlage est plus long et donne plus de déchets.

Si le fin métal dégage une multitude d'étincelles faibles, blanches et formant à la surface du bain une sorte de flamme épaisse qui se résout dans l'atmosphère en vapeurs blanchâtres assez abondantes, l'opération a été poussée trop loin. Le métal, trop caverneux, devient en partie malléable, le puddlage est très difficile et donne de très forts déchets.

Enfin, si le fin métal lance des étincelles volumineuses sans être accompagnées de flamme, le finage est bien fait, le métal a la consistance convenable, et les opérations ultérieures sont avantageuses sous le rapport de la facilité, de la qualité du fer et de l'économie.

Ouvriers nécessaires. Le nombre d'ouvriers nécessaire pour desservir une finerie à six tuyères est de quatre ou cinq au plus, dont un maître, deux aides et un ou deux sous-aides ou manœuvres. Un maître et deux aides suffisent pour une finerie à quatre tuyères, et le même nombre d'ouvriers était employé aux anciennes fineries à trois tuyères d'un seul côté.

Quantité de vent. La quantité de vent varie selon la nature des fontes à mazer; elle doit être au moins de 150 à 160 pieds cubes d'air par minute et par tuyère, lorsqu'on opère sur des fontes au charbon de bois, et il est avantageux de la porter jusqu'à 180, parce qu'on accélère les opérations en diminuant les déchets.

Pour les fontes au coke, il faut environ 220 pieds cubes d'air par tuyère et par minute, et si le combustible est un peu compacte, il est avantageux de porter cette quantité à 230 ou 240 pieds cubes.

Quelle que soit la quantité que l'on donne, elle ne varie pas pendant le finage.

La pression du vent doit être de 2 livres à 2 livres $\frac{1}{4}$ par pouce carré, pour obtenir une fusion prompte avec le moins de déchets possible. En ne donnant au vent qu'une pression de 1 livre $\frac{1}{2}$ à 1 livre $\frac{3}{4}$, comme cela a lieu dans plusieurs usines, on augmente de beaucoup la durée des opérations et les déchets.

Produits, consommations et déchets. A l'usine de Terrenoire, avec des fontes moyennes au coke, mélangées d'un sixième à un huitième de fonte de Bourgogne fabriquées au bois, une quantité de vent de 220 à 225 pieds cubes par minute et par tuyère, sous une pression de 2 livres $\frac{1}{4}$ par pouce carré, chaque finerie fait dix opérations en douze heures.

Dans la finerie à six tuyères, on passe 28,000 kil. de fonte par vingt-quatre heures, qui produisent 24,600 kil. de fin métal, et consomment 8,500 kil. de fonte.

Dans la finerie à quatre tuyères, on passe dans le même temps 19,000 kil. de fonte, qui produisent 16,600 kil. de fin métal, et consomment 5,950 kil. de coke.

Ainsi les déchets sont de 12 à 12,143 pour 100, et l'on brûle de 303 à 313 kil. de coke par 1,000 kil. de fonte passée aux fineries.

Dans les anciennes fineries à trois tuyères de la même usine qui ne recevaient que 150 à 160 pieds cubes d'air par minute et par tuyère, sous la pression de 2 livres à 2 livres $\frac{1}{4}$ par pouce carré, et dans lesquelles on ne traitait en majeure partie que des fontes au charbon de bois, le produit était

moyennement de 8,000 kil. de fin métal par vingt-quatre heures; on consommait 420 kil. de coke par tonne (1,000 kil.) de fonte, et le déchet moyen pris sur le roulement d'une année était de 12,146 pour 100.

On voit, par cette comparaison, combien les fineries à deux rangs de tuyères sont avantageuses sous le rapport de la quantité de produits, et de l'économie en combustible et en main-d'œuvre.

A l'usine de Decazeville, on ne charge que 1,300 à 1,350 kil. de fonte dans les fineries à six tuyères; chaque opération dure en moyenne deux heures vingt-cinq minutes, et l'on obtient dix à douze tonnes de fin métal par feu en vingt-quatre heures. Les déchets sont de 18 à 20 pour 100, et se sont élevés jusqu'à 26. Mais, dans cette usine, la fonte est moins avantageuse à traiter que celle de Lavoulte dont on se sert à Terrenoire, le coke y est de moindre qualité, et la pression du vent n'est que de 1 livre $\frac{1}{4}$ à 1 livre $\frac{3}{4}$ par pouce carré. En outre, les tuyères sont également plongeantes, au lieu d'avoir une inclinaison différente sur chaque côté.

La faiblesse du vent, et peut-être aussi sa trop petite quantité, est la cause principale de l'infériorité des résultats de l'usine de Decazeville, et leur comparaison avec ceux de Terrenoire montre combien il est important que le vent soit donné en quantité et sous une pression suffisantes. Du reste, les déchets peuvent varier beaucoup, selon le plus ou moins d'habileté de l'affineur.

Durée des fondages. Le travail des fineries s'arrête à la fin de chaque semaine; mais, une fois en activité, il marche sans interruption; les ouvriers se relèvent ordinairement de douze en douze heures.

On arrête le fondage le samedi à midi, et on reprend le travail le dimanche à minuit. Dans cet intervalle, on s'occupe des réparations dont les foyers peuvent avoir besoin.

DU PUDDLAGE.

Le puddlage, ou le travail qui s'exécute dans les fours à puddler, n'est autre chose que l'affinage proprement dit, c'est-à-dire l'opération par laquelle on convertit la fonte ou le fin métal en fer ductile.

Les agens qui produisent l'affinage sont encore ici les mêmes qui ont été indiqués en parlant des forges à l'allemande (*voy*. p. 31 et suiv.); seulement l'air n'est pas fourni par une machine soufflante, et n'arrive dans le four qu'après avoir traversé la grille. L'eau est employée à la fois pour oxider le métal et pour le coaguler en le refroidissant. Lorsqu'on ne veut produire

que ce dernier effet, il suffit de fermer le registre qui recouvre la cheminée.

Le puddlage peut s'appliquer directement à la fonte, mais on ne traite ordinairement ainsi que des fontes blanches, parce qu'elles ont la propriété de se maintenir assez long-temps dans un état pâteux, et qu'elles cèdent alors leur carbone par l'accès d'un faible courant d'air.

Les fontes blanches pauvres en carbone, telles que les fontes caverneuses, ou qui se rapprochent de l'état de fin métal, peuvent se traiter sans scories à la manière de ce dernier; mais les fontes blanches lamelleuses, ainsi que celles obtenues par refroidissement subit, contenant plus de carbone, ne peuvent être puddlées sans une assez forte addition de scories douces.

La fonte grise se prête d'autant plus difficilement au puddlage direct, qu'elle contient plus de graphite. Elle entre en fusion complète et se maintient long-temps à cet état, s'oxide fortement sans que le graphite soit entièrement brûlé, et subit un déchet très considérable, en sorte que l'opération ne présente aucune économie, ni sous le rapport du temps, ni sous celui des matières premières. Cette fonte est d'ailleurs la moins pure, et l'action des scories étant insuffisante pour la débarrasser des substances étrangères, elle ne produit que du fer cassant. Il est donc indispensable de la soumettre à l'opération du mazéage.

Le fer que l'on obtient par le puddlage direct des fontes blanches, n'est jamais d'aussi bonne qualité que celui que donne le fin métal, le mode de fabrication étant le même de part et d'autre, parce que le travail des fours à puddler ne peut enlever le phosphore, le silicium et les autres matières étrangères, aussi complètement que celui des fineries.

Le puddlage direct ou par additions de scories, et le puddlage du fin métal qui s'effectue par la seule action du courant d'air, constituent deux méthodes de travail entièrement distinctes l'une de l'autre quant à la première période de l'affinage. Dans la seconde, qui commence au moment où le métal est devenu pulvérulent, la fonte et le fin métal se traitent de la même manière.

Outils du puddleur. Ces outils sont : 1°. le *crochet,* espèce de ringard de 2^{m}20 à 2^{m}30 de longueur, ayant une de ses extrémités aplatie et repliée en équerre. Cette partie a 14 à 15 centimètres de longueur sur 5 de largeur et 1 et demi d'épaisseur environ; elle se termine en biseau ou en tranchant. Cet outil sert à diviser le métal et à le brasser.

2°. La *spadelle,* ou ringard terminé par une palette de 11 à 12 centimètres

de longueur sur 5 à 6 de largeur. Elle est de même longueur que le crochet, et sert également à brasser et à former les balles.

3°. Une *coupe* ou *capsule* de forme allongée, en cuivre ou en fer battu, avec laquelle l'ouvrier projette au besoin de l'eau dans le four.

4°. Un marteau à main, dont le puddleur se sert pour frapper la hampe de ses outils, afin d'en détacher et de faire tomber sur la sole du four les parties de métal qui pourraient y adhérer.

5°. Une pelle plate tout en fer, dont le manche se termine en T, et qui sert à introduire le métal dans le four. Souvent cet outil est remplacé par la spadelle.

Il y a près de chaque four six à huit crochets, autant de spadelles, quelques ringards à pointe qui servent à diviser le métal, et une grande bâche en fonte contenant de l'eau pour rafraîchir ces outils.

Il faut en outre une pelle pour charger le combustible, et quelques petits ringards pour travailler et nettoyer la grille.

Combustible. Le seul combustible employé jusqu'ici pour les fours à puddler, est la houille. On doit choisir de préférence les houilles grasses qui produisent de longues flammes, afin que toute la sole du four soit chauffée aussi également que possible, et la brûler à l'état de grêle ou en moyens fragmens, afin qu'elle couvre la grille plus uniformément, et laisse moins de passages à l'air. Il faut éviter le charbon trop menu, parce qu'il obstrue la grille, et produit trop de variations de température.

On a essayé de puddler au bois, à la tourbe, à l'anthracite, et quoique ces essais n'aient pas eu de suite, on en fera connaître plus loin les résultats.

Nombre d'ouvriers par four. Il faut pour chaque four deux puddleurs et deux aides. Ces ouvriers sont partagés en deux sections qui se relèvent ordinairement de huit en huit heures, et quelquefois toutes les douze heures seulement. Ce dernier intervalle est trop long, parce que le travail est très fatigant.

On fait six opérations ou *chaudes* par tournée de huit heures, et huit par tournée de douze heures, en sorte que ce système est moins avantageux que le premier.

Les fonctions de l'aide puddleur sont de chauffer le four, d'y charger le métal, et de surveiller le travail pendant une partie de la première période. Le puddleur l'achève et fait les loupes.

Pour les fours doubles, on employait un aide de plus à chaque tournée.

Préparation de la sole. L'affinage, dans les fours à puddler, se fait sur des soles en fonte, en sable ou en scories douces.

Lorsqu'on travaille sur sole en fonte, on la recouvre d'une couche de scories grossièrement pulvérisées, et de 4 à 5 centimètres d'épaisseur. Cette couche étant bien battue, on donne un coup de feu pour la faire entrer en fusion pâteuse, et alors elle peut recevoir le métal.

Les soles en sable se font en quarz pilé ou en sable quarzeux très pur et lavé au besoin. Ce sable doit résister à la chaleur ordinaire des fours à puddler, et il doit être fortement battu, afin que la sole ne puisse se fendre. On donne à ces soles de 16 à 20 centimètres d'épaisseur au-dessus des plaques de fonte qui la supportent. Avant de se servir d'une sole en sable, il faut la recouvrir d'une couche de scories pulvérisées de 15 à 20 millimètres d'épaisseur. On met ensuite ces scories en fusion, et on aplanit la sole avec une spadelle rouge avant d'y placer le métal. Après cette opération, une sole en sable bien faite doit être assez dure pour résister au ringard.

Pour faire les soles en scories, on brise ces dernières en menus fragmens, dont on forme sur les plaques de fonte une couche de 8 à 10 centimètres d'épaisseur. On donne alors un fort coup de feu, et lorsque les scories sont entrées en fusion pâteuse, on égalise leur surface avec une palette rouge. La sole ainsi égalisée n'a plus, après cette opération, qu'une épaisseur de 6 à 7 centimètres.

Lorsqu'on doit travailler sur fin métal, on fait la sole à peu près plane, et on lui donne une légère inclinaison vers le floss, afin que les scories puissent s'écouler; mais lorsqu'on traite de la fonte, la sole doit être concave vers le milieu, afin que la fonte et les scories nécessaires à sa décarburation puissent se réunir en ce point. Dans ce cas, on élève presque toujours le pont du rampant à 6 ou 7 centimètres au-dessus de la sole, afin que la fonte ne puisse s'écouler avec les scories surabondantes. Lorsqu'il y a plus de scories qu'il n'en faut pour le travail, on les enlève par la porte, ou bien on les fait écouler par un trou ménagé en dessous du seuil, comme l'indique la *fig.* 33, Pl. 15.

Le travail sur sable occasionne un déchet de 3 à 4 pour 100 plus fort que le travail sur fonte, parce que le sable, s'emparant de l'oxide de fer, ce dernier doit être formé en plus grande quantité pour opérer la décarburation. Toutefois il paraît que ce déchet est souvent compensé dans les opéra-

tions ultérieures, et comme le sable peut enlever, avec l'oxide qu'il dissout, l'acide phosphorique que contient quelquefois le fer, la qualité de ce dernier en est alors améliorée.

On préfère néanmoins généralement les soles en fonte aux soles en sable, parce que le travail y est plus facile, que les ringards glissent mieux sur leur surface, et que le sable, adhérant souvent au fer, le rend défectueux.

Les soles en scories rendent l'affinage un peu plus facile et plus prompt que les soles en sable, mais le fer est généralement moins bon.

Les soles se creusent rarement lorsqu'on ne travaille que du fin métal, et, au contraire, l'oxide qui se forme les exhausse peu à peu, en sorte qu'on est obligé de les briser et de les refaire. Lorsqu'elles se creusent, ce qui arrive avec un fin métal imparfait et surtout avec la fonte, on les répare après chaque opération, en ajoutant des matières fraiches que l'on égalise le mieux possible. Ces réparations n'empêchent pas la sole de s'user assez promptement, et, pour l'ordinaire, on est obligé de la refaire à neuf à la fin de chaque semaine.

On enlève les vieilles soles en sable ou en scories, soit en les mettant en fusion par un fort coup de feu, avec addition de sable fusible au besoin, et les faisant écouler par le floss, soit en les brisant en morceaux lorsqu'elles sont refroidies. Le premier moyen est commode, mais si la sole est trop réfractaire, les parois du four peuvent aussi entrer en fusion. Le second est plus prompt, plus économique, et n'exige qu'un peu de précaution pour ne pas attaquer la maçonnerie intérieure du four.

On pulvérise les vieilles soles pour les faire entrer dans la composition des soles fraiches, qui acquièrent ainsi plus de dureté, et occasionnent moins de déchets.

Lorsque les soles en fonte sont usées, il faut démolir l'intérieur du four pour les enlever et les remplacer.

On a fait plusieurs essais de soles en calcaire et en chaux, dans le but d'améliorer le fer et de diminuer les déchets, mais on a été obligé d'y renoncer, parce que ces matières se combinent avec celle des briques, et accélèrent la destruction du four. On a reconnu par ces essais, que le fer, quoiqu'un peu plus dur, est en effet amélioré, que les déchets sont un peu moindres, et que l'opération est abrégée de vingt à vingt-cinq minutes; mais on arrive à peu près aux mêmes résultats par une addition de chaux pendant le puddlage, sans éprouver les mêmes inconvéniens.

Mise en feu. Pour mettre un four en train, on le chauffe pendant six heures, en augmentant graduellement la température, jusqu'à ce que les parois intérieures soient parvenues au rouge-blanc. C'est seulement alors qu'on commence à y introduire le métal. Le but de ce chauffage préalable, lorsqu'on reprend le travail, est de désagréger promptement les matières, et d'éviter la forte oxidation qu'elles éprouveraient par une fusion lente et le contact de l'air long-temps prolongé.

Chargement du four. La fonte ou le fin métal étant cassés par morceaux de 10 à 15 kilogrammes, et d'un moindre poids s'il est possible, on les introduit dans le four, soit à la main, soit en les plaçant sur une palette; et on rassemble la charge près du pont, pour la mettre un peu à l'abri du courant d'air, et l'exposer de suite à une plus haute température.

Lorsqu'on fait usage de fours à deux soles, dans le genre de celui représenté Pl. 16, on place d'abord le métal sur la petite sole; là, il est amené au rouge-blanc avant que d'être porté sur la sole de travail. Il faut éviter de l'oxider trop fortement et de le fondre; et, pour cela, on ne charge la petite sole que vingt-cinq à trente minutes avant la fin du puddlage de la charge précédente.

La préparation que subit le métal sur la petite sole, accélère d'au moins dix minutes le travail de l'affinage, économise le combustible qui serait brûlé pendant ce temps, et permet, dans le plus grand nombre de cas, de faire une opération de plus par tournée.

Le poids de la charge, soit en fonte, soit en fin métal, varie de 170 à 200 kil.; le plus ordinairement il est de 175 à 180 kil.

Puddlage de la fonte, première période. La fonte étant chargée, on y ajoute les scories nécessaires, on jette du nouveau combustible sur la grille, et l'on ouvre le registre de la cheminée pour donner un fort coup de feu. Après dix minutes environ, si la fonte a été préalablement chauffée, ou vingt à vingt-cinq minutes, si elle a été introduite froide, elle est parvenue au rouge-blanc, et peut être divisée par les ringards, ou réduite en *sable*, selon l'expression des ouvriers.

C'est alors que commence le travail de l'affinage; on ferme le registre pour que les matières ne se liquéfient pas trop, et on brasse les matières sans relâche dans le bain de scories, pour les décarburer et leur faire prendre la consistance pâteuse. On ajoute des scories douces, s'il est nécessaire, pour accélérer la décarburation; et si le métal est devenu trop liquide, on l'arrose d'eau pour le rafraîchir et le coaguler. On peut aussi jeter dans le bain

des battitures de marteau ou de laminoirs, mais l'emploi de l'eau seule donne généralement de meilleur fer.

Lorsqu'on traite de la fonte très carburée, on donne quelquefois accès à l'air dans le four, en débouchant le tisard en partie. Il s'établit alors un faible courant d'air qui agit sur la surface du métal, et accélère le départ du carbone sans occasionner une trop forte oxidation.

Bientôt la matière acquiert plus de consistance, et il faut continuer à la brasser avec activité, afin de renouveler sans cesse le contact des parties oxidées avec celles qui sont encore carburées, et d'empêcher les parties déjà presque affinées de se *brûler,* c'est-à-dire de trop s'oxider. Après quinze à vingt minutes de brassage, la matière s'est épaissie et est devenue tellement visqueuse, qu'on ne peut la diviser qu'avec beaucoup de peine; les ouvriers disent alors qu'elle est *fondue.* Dans ce moment, le puddleur doit redoubler d'efforts afin d'empêcher que le fer, qui contient encore beaucoup de carbone, ne se prenne en masse, et si, malgré cela, la matière devenait trop dure, il faudrait fermer tout accès à l'air, même par le regard de la porte, lever le registre pour donner un coup de feu très rapide, et reprendre ensuite le travail le plus tôt possible.

Quelques minutes après que la matière est fondue, sa surface commence à s'agiter comme un liquide en ébullition, ce qui fait dire aux ouvriers qu'elle *boût.* Le carbone qui s'échappe à l'état d'oxide brûle en formant des jets de flamme bleue, la viscosité est moindre qu'auparavant, le brassage est plus facile, et c'est l'époque où il doit être le plus actif.

Selon la nature des fontes, le bouillonnement dure de dix à vingt minutes au plus. Il diminue à mesure que les jets de flamme deviennent plus rares, et en même temps la matière perd peu à peu la couleur rouge qu'elle avait jusqu'à cette époque, et en prend une plus claire.

Quelquefois le bouillonnement ne se manifeste pas sensiblement, parce que le gaz oxide de carbone s'est dégagé plus lentement, et n'est pas venu brûler à la surface d'une manière visible. Ce phénomène se présente surtout avec les fontes peu carburées.

Soit que le bouillonnement ait lieu ou non, la fin de la première période du travail s'annonce par la facilité avec laquelle la matière se divise en une infinité de petits grumeaux; les ouvriers disent alors qu'elle commence à se *sécher.* Quelques instans après, elle jette un vif éclat qui indique qu'elle a changé d'état, ou qu'elle *prend nature,* c'est-à-dire qu'elle devient fer. On brasse encore quatre à cinq minutes, pendant lesquelles la

masse devient comme pulvérulente, parce que les particules métalliques dont elle se compose ne sont pas soumises à une assez haute température pour se souder ensemble. On réunit ces particules, avec la spadelle, on détache celles qui se sont attachées à la sole, et on se dispose à faire les balles.

Pendant cette période, qui dure en tout cinquante à cinquante-cinq minutes, la température du foyer doit varier le moins possible, sauf le cas d'accident indiqué; la grille doit être bien couverte de combustible embrasé, et il faut éviter de la recharger après que le brassage a commencé. Le puddleur et son aide travaillent alternativement.

On ne suit pas toujours exactement la marche que l'on vient de décrire, et, dans quelques usines, on n'ajoute les scories qu'au moment où la fonte commence à devenir liquide. Cette manière d'opérer produit du reste les mêmes résultats.

Puddlage du fin métal, première période. Quand on traite du fin métal, on n'ajoute point de scories à la charge, ni pendant l'opération, à moins que le finage n'ait pas été convenablement fait. On réduit la matière à l'état pâteux par un fort coup de feu qui dure dix ou vingt minutes, selon qu'elle a été chargée au rouge-blanc ou froide. De temps à autre, on s'assure de sa consistance en la touchant avec un ringard, et si, faute d'attention, elle est devenue liquide, on l'arrose avec de l'eau pour la ramener à l'état pâteux.

Dès qu'elle est dans cet état, on abaisse le registre, et on procède au travail de l'affinage, qui s'exécute de la même manière que pour la fonte, et se termine aussi au moment où le métal est devenu pulvérulent.

Puddlage, deuxième période. Le travail du puddlage s'achève de la même manière, soit qu'on traite de la fonte, soit qu'on opère sur du fin métal. Il est fait par le puddleur seul, et l'aide n'a à s'occuper que de la conduite du feu. Le fer étant à l'état pulvérulent, on donne d'abord une chaude très intense pour en souder les parties. Le puddleur abaisse alors le registre, et fait bien fermer le tisard du four. Avec un ringard, il s'assure de l'état de la matière, pour saisir le moment de former les balles. En les commençant trop tôt, elles seraient sans consistance, et le marteau les ferait voler en éclat; en attendant trop, la cohésion de la matière serait si forte, qu'on ne pourrait plus guère la travailler. Lorsqu'elle est au point convenable, il divise la masse en plusieurs parties, qu'il sépare pour les empêcher de se souder entre elles. Avec sa spadelle, il détache une de ces

parties de la sole, en prenant pour point d'appui le seuil de la porte, la tourne, la roule sur la sole, et la comprime en appuyant la hampe de la spadelle contre le cintre du regard. Lorsque la balle est bien arrondie et comprimée, il la place près du pont, puis il s'occupe successivement des autres. Les premières balles sont toujours faites avec la matière la plus rapprochée du pont, parce que la température en est plus élevée, et pendant ce temps, les autres parties arrivent au degré convenable. En faisant la dernière balle, le puddleur la roule sur toute la surface de la sole, afin qu'elle ramasse les morceaux de fer restés épars.

Selon la quantité de matière mise à l'affinage, on fait cinq à sept balles que l'on réunit vers le pont, en laissant un petit espace entre elles pour qu'elles ne s'attachent pas les unes aux autres.

La confection des loupes ou balles s'exécute encore par un autre procédé, qui a quelque analogie avec l'affinage par attachement pratiqué dans les forges à l'allemande. Au lieu de diviser la masse, on en prend une petite partie que l'on fait rouler en tous sens, et qui augmente ainsi de volume comme fait une boule de neige. Lorsqu'elle est assez grosse, on l'arrondit en la roulant sur la sole, on la comprime fortement, et on la range près du pont. Les autres loupes se font successivement de la même manière, à moins que la matière, devenue trop consistante, n'oblige à recourir au premier moyen.

La confection des balles exige de huit à dix minutes, et lorsqu'elle est terminée, on ferme les portes, on les marge avec de l'argile ou de la terre grasse, et l'on donne un bon coup de feu en élevant le registre et chargeant la grille, pour opérer le soudage de toutes les parties et augmenter leur cohésion. Il est essentiel que les balles soient bien arrondies, parce que des parties anguleuses se détacheraient dans le cinglage, et qu'elles soient bien comprimées et soudées, afin que le choc du marteau ou la compression des cylindres dégrossisseurs ne les brise pas en morceaux; aussi ce travail exige-t-il beaucoup de force et d'adresse.

Après quelques minutes de chauffage, on retire les balles, ainsi qu'on l'expliquera bientôt, et on les traîne rapidement au marteau ou aux cylindres dégrossisseurs.

Toutes les balles sont ordinairement enlevées en cinq ou six minutes. Alors on répare la sole, on retire les parties de fer qui peuvent rester, on fait écouler au besoin les scories, on nettoie la grille, et l'on peut recommencer une nouvelle opération.

Lorsqu'on charge le métal froid, chaque affinage exige ordinairement soixante-dix à soixante-quinze minutes si l'on opère sur fin métal, et une heure trois quarts à deux heures lorsqu'on opère sur fonte. Si la matière est préalablement chauffée au rouge-blanc, l'affinage est abrégé d'environ dix minutes. Y compris le temps nécessaire pour tout disposer après l'enlèvement des balles, on fait ordinairement six opérations par tournée de huit heures en affinant du fin métal, et quatre seulement en traitant de la fonte, l'un et l'autre étant pris froids.

Pour que le travail marche bien et que les déchets ne soient pas trop considérables, il faut que les ouvriers y apportent une attention soutenue, que la porte du four ne soit jamais levée pendant sa durée, et que l'on ne recharge la grille que trois ou quatre fois au plus. C'est en général vers la fin de l'opération que l'on donne de nouvelles chaudes, mais il faut du reste que les ouvriers étudient la marche de chaque four en particulier, car des fours construits exactement dans les mêmes dimensions, ont souvent une marche différente, outre qu'elle varie encore selon l'état de l'atmosphère.

Lorsque, par la nature du travail, les scories ne doivent pas rester sur la sole, il faut avoir soin qu'elles puissent toujours s'écouler par le floss, et que ce passage ne s'obstrue pas. A cet effet, on l'environne de quelques briques ou de morceaux de plaques de fonte, on forme un petit tas de houille qui recouvre le floss, et on l'entretient en ignition pour maintenir la fluidité des scories.

Pendant que le puddleur forme les balles, son aide engage dans le four les bouts des barres de fer que l'on nomme *crosses* ou *gouvers*, si l'on doit en faire usage pour le cinglage au marteau.

Déchets. Les déchets de puddlage ne peuvent se compter qu'après que le fer est mis en barres dégrossies, et comprennent nécessairement les pertes dues à l'affinage, et celles qui résultent de l'oxidation dans le travail du marteau et des cylindres dégrossisseurs. Ces dernières ne peuvent varier beaucoup; mais les premières sont plus ou moins considérables, selon l'habileté des ouvriers. Pour qu'elles soient réduites au minimum, il faut qu'on ne laisse pas oxider le fer au-delà de ce qui est nécessaire à la décarburation, que l'oxide formé soit bien mêlé avec la matière, et que les scories ou la sole en absorbent le moins possible.

Il y a des puddleurs qui, en travaillant sur un bon fin métal, ne font que 8 à 9 pour 100 de déchets; d'autres en font jusqu'à 12 pour 100 : terme moyen, dans une grande usine où tous les ouvriers ne peuvent être

également habiles, et le fin métal toujours également bien fait, les déchets, comptés sur une année de fabrication, ne doivent pas excéder 10 à 10 ½ pour 100. C'est le résultat ordinaire des forges de Terrenoire.

En travaillant sur fonte, les déchets sont rarement moindres de 12 pour 100; plus fréquemment ils sont de 15, et quelquefois de 20 à 25 lorsqu'on affine des fontes grises. Des pertes plus considérables ne peuvent être attribuées qu'à l'inhabileté des ouvriers puddleurs.

Produits et consommations. D'après les données précédentes, la charge des fours étant de 175 kil., la consommation en fin métal par vingt-quatre heures est de 3,150 kil., et en fonte blanche de 2,100 kil.

Les produits, selon les déchets, peuvent varier de 2,835 à 2,770 kil. dans le même temps, lorsqu'on opère sur fin métal, et de 1,700 à 1,800 kil. en affinant la fonte directement.

La consommation de combustible est évaluée généralement à 100 kil. de houille pour 100 kil. de fin métal livré à l'affinage, et de 140 à 150 kil. pour 100 kil. de fonte blanche; ce qui porte ces consommations à environ 110 pour 100 de fer dégrossi provenant de fin métal, et moyennement à 175 pour 100 de fer résultant du puddlage direct.

A moins d'emploi de mauvais charbon, ces consommations ne doivent pas être dépassées dans une opération bien faite, et elles peuvent même être moindres, car à Terrenoire, d'après le roulement de l'année 1826, pendant laquelle on a affiné de la fonte blanche et du fin métal à peu près par moitié, la quantité de combustible brûlé ne s'est élevée qu'à 96 pour 100 des matières mises en opération, y compris encore le *réchauffage* de la presque totalité des balles, opération dont il sera bientôt question.

En évaluant en houille le coke employé au finage, on trouve qu'il y a économie d'environ 25 pour 100 sur le combustible dans le puddlage direct; mais, d'un autre côté, les déchets sont plus considérables, la fabrication moindre d'un tiers, et le fer moins bon; en sorte qu'eu égard au prix de vente et aux frais généraux, les avantages de ce procédé se réduisent à très peu de chose, ou peuvent même se transformer en perte.

Puddlage au bois. Des essais ont été faits aux usines de Châtillon-sur-Seine et de Crans, dans le but de puddler en employant le bois; voici les principaux résultats tels qu'ils ont été donnés par les auteurs de ces essais.

A Châtillon, les fours ne différaient de ceux dans lesquels on travaille à la houille que par les dimensions de la grille, et la durée de l'opération était à peu près la même de part et d'autre, à charge égale.

Le déchet, en travaillant sur fonte, était de 15 pour 100, comme dans l'affinage à la houille, et le fer était de même qualité.

On consommait 7,5 mètres cubes de bois de toute espèce, non desséché, pour obtenir 1,000 kil. de fer.

A Crans, les essais ont été faits avec du bois sec, et l'on n'en brûlait que 3,5 mètres cubes par 1,000 kil. de fer; mais il fallait brûler en outre 27 à 30 kil. de bois par mètre cube de bois desséché, ce qui augmentait la consommation de 8 à 9 pour 100.

On a reconnu dans ces essais, qu'à poids égal, toutes les essences de bois produisent à peu près le même effet.

Quoique les résultats obtenus avec le bois sec fussent assez avantageux, ces tentatives ont été abandonnées après quelques mois de travail, à cause de la difficulté de s'approvisionner pour une grande fabrication, et par l'impossibilité de préparer et de conserver les masses de bois sec qu'il faudrait employer.

Des essais ont été également faits en Suède, et l'on a trouvé qu'il y avait économie d'environ un tiers de combustible, comparativement à l'affinage au charbon de bois, mais que le fer était moindre en qualité.

Puddlage à la tourbe. D'après les expériences faites à l'usine de Lauchammer, en Saxe, et à celle d'Inchoux (Landes), la tourbe de bonne qualité employée au puddlage donne des résultats satisfaisans. A Inchoux, le succès a été annoncé comme complet : le fourneau se maintenant à la chaleur blanche, l'opération se faisait facilement, le fer était nerveux et soudait parfaitement, tandis que celui que l'on obtenait par les procédés ordinaires au charbon de bois était grenu ou lamelleux, et très cassant à certaine température.

Ces essais n'ont pas eu assez de suite pour bien constater les déchets; mais ils doivent être considérables, parce que le feu de tourbe se soutenant beaucoup moins que celui de houille, il faut recharger la grille plus souvent.

Pour que le travail marche bien, il faut que la tourbe, après avoir été séchée à l'air, soit exposée pendant une huitaine de jours dans une étuve chauffée à 35 ou 40 degrés. Dans cet état, 3 kil. de tourbe produisent à peu près le même effet que 2 kil. de houille, et, à poids égal, les volumes de ces combustibles sont dans le rapport de 8 à 1 environ.

Le puddlage direct à la tourbe desséchée dure de deux heures à deux heures et un quart, et l'on consomme 26 à 30 pieds cubes de ce combustible pour obtenir 100 kil. de fer.

Puddlage à l'anthracite. L'anthracite brûle difficilement, par couches successives, et donne des flammes peu allongées; par conséquent il n'est point propre à l'opération du puddlage. Les essais faits à Vizille (Isère), en 1827, confirment cette conséquence en tous points. Là, dans un four muni de deux rangs de tuyères inclinées à 45 degrés, et lançant leur vent sur la grille, on n'a pu parvenir à la chaleur blanche qu'au bout de trois heures, et l'on n'a obtenu qu'une très petite quantité de fer extrêmement impur.

DÉGROSSISSAGE DU FER.

On comprendra ici, sous le nom de dégrossissage, le cinglage sous le marteau, le travail des cylindres préparateurs et le cisaillage, parce que ces opérations forment la première période de la fabrication du fer en barres.

Cinglage. Les balles étant terminées dans le four à puddler, on les retire successivement, en commençant par celles qui sont près du pont. L'aide-puddleur soulève la porte, le puddleur amène une balle près du seuil avec un crochet, puis il la saisit avec une grande tenaille à mors recourbés, que l'on nomme *écrevisse,* la tire hors du four et la traîne au marteau. L'aide-marteleur, ou *servant,* l'engage alors entre les tables du marteau et de l'enclume, la retourne en tous sens pour rassembler les particules du fer, et l'abandonne ensuite au marteleur. Dès que la balle est sortie du four, l'aide-puddleur laisse retomber la porte.

Le cinglage se fait en manœuvrant la balle avec des tenailles, ou en y soudant une barre de fer de $1^{m}30$ à $1^{m}50$ de longueur, dont un bout a été chauffé au blanc soudant dans le four à puddler. Cette barre se nomme *crosse, queue* ou *gouver,* et le marteleur s'en sert pour tourner la balle, et la présenter dans tous les sens au choc du marteau.

Soit qu'il travaille à la tenaille ou au gouver, il place la balle entre les pannes qui suivent les tables, la tourne en lui faisant faire de temps à autre un quart de révolution, de manière qu'elle soit battue sur toute face, et qu'elle prenne la forme d'un prisme à base carrée; il la place ensuite verticalement entre la chabotte et l'oreille de la tête du manche, afin de la refouler par les bouts; et lorsqu'elle a reçu quelques coups, il la présente de nouveau entre les pannes pour l'achever. La balle, transformée ainsi en prisme quadrangulaire de 9 à 11 centimètres d'équarrissage, prend le nom de *pièce* ou de *lopin.* Lorsqu'elle est prête, le servant place un couteau ou *hacheron* sur le gouver, pour le couper à l'aide du marteau, et le

marteleur enlève la pièce pour la livrer aux cylindres dégrossisseurs. L'opération du cinglage dure une minute environ.

Le marteau ne devant jamais frapper à vide, parce qu'il pourrait en résulter fracture, dès que la pièce est refoulée par bout, le puddleur tire une seconde balle, qui est engagée entre les tables pendant que la pièce s'achève; et les mêmes manœuvres se répètent jusqu'à ce que toutes les balles soient cinglées.

Le travail des fours à puddler est échelonné de manière que le martelage ne soit jamais interrompu.

Il peut arriver qu'une balle se brise sous le marteau ou tombe de l'enclume; dans ce cas, on en présente immédiatement une autre, et on enlève la balle manquée pour la réchauffer. Pour cela, on attend que les balles de l'opération suivante soient faites; on place la pièce manquée près du pont, afin qu'elle reçoive une forte chaude; on la comprime de nouveau, et on la cingle ensuite comme à l'ordinaire.

Si, par accident, le marteau est arrêté, ou s'il est cassé, les opérations de puddlage n'en continuent pas moins; seulement, les balles faites, on les enlève, et on les remet au four lorsqu'elles doivent être cinglées, ou bien on les passe de suite aux laminoirs dégrossisseurs.

Les laitiers étant chassés avec force par le choc du marteau, le marteleur et son aide portent un masque en toile métallique, ou en cuir garni d'un verre, des couvre-jambes en ferblanc ou en cuir fort, un tablier en cuir, et des espèces de gantelets, afin de ne pas être brûlés.

Ces ouvriers travaillent par tournées, dont la durée est ordinairement la même que celle des tournées de puddleurs.

On a observé que les balles manquées et réchauffées donnaient un fer de meilleure qualité, et cette observation a donné lieu à la méthode suivante de cinglage, semblable à celle que l'on suit dans quelques forges à l'allemande. Avant de terminer la pièce, on la porte dans un four à réchauffer placé à proximité du marteau; on l'y laisse deux minutes environ, pendant lesquelles elle revient au rouge blanc, puis on l'achève en quelques coups de marteau, et on la passe aux dégrossisseurs. On peut obtenir ainsi un fer d'une excellente qualité, sans accroissement sensible de déchets et de dépense en combustible. Un four à réchauffer suffit pour huit fours à puddler.

Les pièces terminées, on les passe aux dégrossisseurs pour les réduire, selon le besoin, en barres carrées ou plates. Lorsqu'elles sont refroidies,

on les pèse, puis on les recoupe à la cisaille par morceaux de 32 à 40 centimètres de longueur, qui prennent le nom de *bidon* lorsque les barres sont de forme à peu près carrée, et de *plaquette* ou *languette* lorsque les barres sont plates.

Lorsqu'on n'a pas de marteau, ou qu'on ne veut pas en faire usage, les balles sont cinglées entre les premières cannelures des cylindres dégrossisseurs, et étirées de la même chaude en fers dégrossis; mais le fer n'est jamais aussi bon que s'il avait été préalablement martelé, parce que la pression des cylindres ne peut, aussi bien que la percussion, l'épurer ou en chasser les scories, et en rapprocher les molécules.

Pour cingler au moyen des cylindres, l'ouvrier cingleur saisit la loupe avec une tenaille, dite *écrevisse*, et l'engage dans la première cannelure, dont la forme est à peu près elliptique. L'aide-cingleur, placé de l'autre côté des cylindres, la reçoit et la passe par-dessus le cylindre supérieur. Le cingleur la saisit et la passe de nouveau dans la même cannelure, en lui faisant faire un quart de révolution, pour la comprimer dans le sens perpendiculaire au premier. Il la présente ensuite de manière à comprimer les bouts. Après trois ou quatre passages dans la première cannelure, on l'engage deux fois de suite dans la seconde, où, éprouvant une plus grande compression, elle commence à s'allonger. On la passe alors une seule fois dans chacune des cannelures ogives suivantes, et deux fois dans la cannelure à laquelle on s'arrête, soit pour laisser la barre dans cet état, soit pour la transformer ensuite en fer plat, en ayant soin de lui faire faire un quart de tour à chaque passage.

En aplatissant la barre, on peut ne la passer qu'une fois dans les premières cannelures rectangulaires; mais il faut la passer deux fois dans la dernière, afin que le fer soit mieux fait et présente moins de gerçures.

On a soin de recueillir les scories et les battitures du marteau et des cylindres préparateurs, parce qu'elles sont d'un emploi très avantageux pour le travail des fineries.

S'il se détache des morceaux de la loupe, on les met à part et on les ajoute aux balles dans l'opération de puddlage subséquente.

Soit que l'on cingle préalablement au marteau, soit que l'on cingle aux cylindres préparateurs seulement, la transformation des balles en fer dégrossi ne dure moyennement qu'une minute et demie.

Les gouvers entrent dans les fers dégrossis dans la proportion moyenne de 25 à 30 kil. par tonne.

FINISSAGE DU FER.

Sous la dénomination de finissage, nous comprendrons toutes les opérations à exécuter sur le fer dégrossi et cisaillé, pour le transformer en fer fini de tout échantillon : ces opérations sont le réchauffage, le laminage, le dressage, et l'affranchissage ou rognage.

Réchauffage. Les fours à réchauffer sont servis par deux ouvriers : le chauffeur et son aide.

Avant de commencer la première opération, ces ouvriers forment la sole du four avec du sable réfractaire bien battu. Ils lui donnent ordinairement 8 à 10 centimètres d'épaisseur, et une pente de 6 à 8 centimètres vers le floss, afin que les laitiers s'écoulent facilement. Ils frittent ensuite la sole par un fort coup de feu, et l'égalisent au besoin avec une spadelle chauffée au rouge.

Le fer étant cisaillé, on en fait des trousses composées ordinairement de quatre morceaux, et on les dispose en tas réguliers auprès des fours. L'aide-chauffeur prend ces trousses, et les place une à une sur une palette en fer, que le chauffeur tient appuyée sur le seuil de la porte. Celui-ci les range sur la sole parallèlement à la longueur du four, en commençant par le point le plus éloigné du pont, parce que la chaleur y étant plus faible, le fer doit la recevoir plus long-temps. Il laisse entre les trousses un intervalle d'environ 25 millimètres (11 à 12 lignes), pour que la flamme puisse circuler tout autour, et que les scories puissent couler librement.

Après l'introduction de chaque trousse, l'aide-chauffeur baisse la porte du four, afin de ne pas trop le refroidir.

La charge d'un four à réchauffer se compose de 700 à 750 kil. de trousses, disposées pour fabriquer du fer de petit échantillon, et de 900 à 1,000 kil., lorsqu'elles sont destinées à produire du gros fer. Le chargement dure un quart d'heure environ.

Le four étant chargé, on ferme les portes, et on les marge avec de la terre grasse ou de l'argile, pour empêcher l'entrée de l'air, qui produirait un refroidissement et augmenterait l'oxidation du fer. Ensuite on nettoie la grille, et on l'entretient couverte de houille bien embrasée, afin qu'il échappe le moins d'air possible à la combustion.

La conduite du feu est une opération délicate, qui exige toute l'attention des ouvriers. Le but que l'on se propose étant de souder le fer et

de l'épurer davantage, il faut qu'il arrive au blanc-soudant sans dépasser ce point. Le chauffeur doit donc s'assurer de temps à autre de l'état du fer, et diriger le feu en conséquence; car le registre de la cheminée ne devrait jamais être employé, attendu qu'en le baissant, on diminue la température, et qu'on s'expose ainsi à mal souder les languettes.

En dépassant le blanc-soudant, on brûle le fer, ce qui altère sa qualité et augmente les déchets.

Quelquefois, vers la fin de l'opération, on retourne les trousses; mais cette manipulation ne pouvant se faire sans refroidir le four et augmenter l'oxidation, est plus nuisible qu'avantageuse. On ne doit la pratiquer que lorsqu'on s'aperçoit que le soudage est incomplet entre les languettes inférieures.

Après une heure de feu soutenu, l'opération du réchauffage est ordinairement achevée pour les trousses exposées à la plus haute température. Le chauffeur les enlève alors, en commençant par les plus voisines du pont. A cet effet, il les prend sur sa palette et les amène près de la porte; l'aide les saisit avec une tenaille, les fait tomber à terre, et les traîne rapidement auprès des laminoirs. Après la sortie de chaque trousse, on ferme la porte jusqu'au moment de prendre la suivante.

Le temps nécessaire à l'enlèvement des trousses varie selon la célérité du laminage; il est moyennement de trois quarts d'heure, et l'on compte habituellement deux heures par opération, parce qu'avant de commencer la suivante, il faut jeter quelques pellées de sable sur la sole, pour la réparer et l'aplanir.

Lorsqu'on ne veut obtenir que du fer de médiocre qualité, on réchauffe simplement le fer dégrossi sans faire de trousses. On se sert alors de barres découpées en bidons, et on opère sur ces bidons de la même manière que sur les trousses.

Pour fabriquer les petits fers, on se sert de bidons provenant de fer carré marchand, coupé à la cisaille, ou bien de trousses faites avec du fer marchand plat. Dans le premier cas, il suffit de réchauffer le fer jusqu'au blanc sans atteindre le blanc-soudant; dans le second, il faut souder les trousses comme dans l'opération précédemment décrite.

Consommations et déchets. La consommation de houille pour le soudage des trousses varie de 70 à 80 kil. pour 100 kil. de fer marchand ou de gros échantillon. Pour le réchauffage des fers de petit échantillon, cette consommation atteint et dépasse quelquefois la proportion de 100 pour 100.

Dans le travail ordinaire des forges de Terrenoire, où les petits fers forment à peu près le tiers de la fabrication, la consommation moyenne au réchauffage, déduite d'une année de roulement, a été de 98 de houille pour 100 de fer en barres de toute espèce.

La consommation du sable réfractaire pour faire les soles varie de 7, 5 à 10 pour 100 du fer fini.

Déchets. Les déchets sont moindres pour les fers de gros échantillon que pour les petits fers. Lorsqu'on fait des trousses, le déchet moyen sur les gros fers est de 11 pour 100; il varie de 14 à 17 pour 100 sur les petits fers, en raison inverse de leurs dimensions.

Lorsqu'on se borne à réchauffer les bidons dégrossis sans faire de trousses, ce qui n'a lieu que pour fabriquer du fer marchand commun, les déchets n'excèdent pas 8 à 9 pour 100. Le même travail sur les bidons de fer marchand pour fabriquer des petits fers donne à peu près les mêmes résultats.

Les déchets ne sont comptés qu'après le laminage, et comprennent par conséquent la perte due à l'oxidation des surfaces pendant cette opération.

Réchauffage au bois et à la tourbe. Le bois et la tourbe conviennent parfaitement pour le réchauffage, parce qu'ils donnent une flamme vive et claire, qui maintient le four au blanc-soudant, sans presque jamais dépasser cette température. La tourbe fibreuse est celle qui parait mériter la préférence, et on peut l'employer en mottes simplement desséchées à l'air.

A l'usine d'Inchoux (Landes), on ne se sert que de tourbe fibreuse pour réchauffer le fer, et la consommation est moyennement de quatre mètres cubes par tonne de fer.

LAMINAGE DU FER.

Chaque jeu de laminoirs est servi par trois ouvriers : un *lamineur,* un *aide-lamineur* et un *releveur.* Ce dernier est un enfant placé constamment du côté de l'aide-lamineur, et dont les fonctions consistent à l'aider lorsqu'il repasse le fer au lamineur, ou l'engage dans les cannelures des cylindres supérieurs de petits laminoirs, ainsi qu'on l'a indiqué précédemment (*voy.* Section III, *Laminoirs*).

Le lamineur et son aide sont pourvus de tenailles dont les formes sont appropriées aux fers qu'ils ont à fabriquer; le releveur est muni de son crochet.

A mesure qu'une trousse sort des fours à réchauffer, on la porte aux cylindres ébaucheurs. Là, on la fait passer deux fois dans la première cannelure que comporte son échantillon, pour la bien souder en tous sens; puis on la passe une fois seulement dans les cannelures suivantes, jusqu'à ce qu'étant arrivée à celle où l'on doit s'arrêter, on l'y passe deux fois, afin que les dimensions de la barre soient les mêmes dans les deux sens, et que ses arêtes soient bien avivées. A chaque passage, on fait faire un quart de révolution à la barre, pour éviter les bavures et comprimer toutes ses faces également.

Le fer étant ébauché aux dimensions voulues, après le dernier passage, l'aide-lamineur et le releveur portent rapidement la barre aux cylindres finisseurs, la passent par-dessus les cylindres au lamineur, qui l'engage dans les cannelures, et le travail s'achève en suivant la même marche que précédemment.

Dans la fabrication des fers plats de tout échantillon fabriqués aux laminoirs à deux ou à trois cylindres, ainsi que dans celle des fers marchands carrés et ronds, c'est le lamineur seul qui retourne la barre. Dans la fabrication des fers ronds et carrés au petit laminoir, les barres sont retournées par le lamineur et par son aide à chaque passage.

L'opération du laminage exige beaucoup d'attention et d'adresse, soit pour engager le fer dans les cannelures convenables, soit pour éviter les accidens. Il est important que les barres soient conduites dans le plan des cannelures, sans quoi elles viennent moins droites, se tortillent, et se mâchent entre les arêtes des cannelures. Ce dernier effet a lieu surtout pour les fers ronds et carrés.

Le lamineur doit abandonner la barre lorsque sa tenaille est arrivée à 15 ou 20 centimètres au plus des cylindres, sans quoi elle peut se trouver prise, passer entre les cylindres et les faire rompre.

L'aide-lamineur doit tenir sa tenaille ouverte vis-à-vis la sortie des cannelures, pour saisir la barre dès qu'elle se présente, et reculer rapidement à mesure qu'elle sort. Il s'arrête aussitôt que la barre est dehors. Le releveur la soulève alors avec son crochet à hauteur du cylindre supérieur, et l'aide-lamineur la pousse; le lamineur la saisit à son tour, recule jusqu'à ce que le bout tombe sur le tablier, et il l'engage dans la cannelure suivante.

Les mêmes ouvriers laminent à la fois les produits de deux fours à réchauffer, et emploient environ une heure et demie à ce travail; et comme

le réchauffage dure deux heures en totalité, ils ont une demi-heure de repos après chaque opération.

Dressage des fers. Lorsque les barres sont finies, on les porte rouges encore sur une plaque en fonte à rebord, représentée Pl. 25, *fig.* 20, et que l'on nomme *plaque à dresser*. Des enfans, que l'on nomme *dresseurs*, munis de maillets en bois, les battent dans deux sens perpendiculaires, de manière à les dresser parfaitement, et les rangent contre le rebord de la plaque. Ils les enlèvent et les mettent à terre à mesure qu'elles sont assez refroidies pour ne plus se courber.

Pendant que le fer est encore rouge, les dresseurs y appliquent le poinçon ou la marque de l'usine.

Affranchissage des barres. Les extrémités des barres sont ordinairement défectueuses, irrégulières et mal soudées, parce que les trousses ne peuvent être comprimées par bout; et il est d'usage de les *affranchir,* c'est-à-dire de couper et d'équarrir ces extrémités. Dès que les barres sont froides, on les porte à la cisaille pour faire cette opération. Le déchet qu'elle occasionne, et que l'on nomme *déchet de cisaille,* est moyennement de $4\frac{1}{2}$ à 5 pour 100.

Les rognures ou *riblons* sont récmployés pour fabriquer du fer de très bonne qualité, par un procédé dont il sera question en parlant de l'affinage de la ferraille.

Les fers étant affranchis, sont prêts à être livrés au commerce.

Produit des laminoirs. L'opération du laminage est très prompte, et il ne faut pas, en général, plus d'une minute pour convertir une trousse en barre, en sorte que le produit d'un laminoir serait très considérable s'il pouvait toujours travailler sans autre interruption que les repos obligés pendant le réchauffage.

Mais les opérations antérieures, si bien ordonnées qu'elles soient, entravent toujours un peu le laminage; et, en marche régulière, on ne doit pas compter au-delà des produits ci-après :

Pour un laminoir marchand fabriquant de gros fers, 80 tonnes par semaine ou pour six jours de travail.

Pour un laminoir marchand fabriquant des fers moyens, 60 tonnes par semaine.

Pour un petit laminoir à trois cylindres, produisant les plus forts échantillons en petits fers, 18 tonnes par semaine.

Et pour un petit laminoir ne produisant que de moyens et petits échantillons, 12 tonnes par semaine.

Qualité du fer. La qualité des fers laminés, à part l'influence de la qualité des fontes, dépend des opérations qu'ils ont subies.

Si l'on n'a pas mazé la fonte, qu'on cingle aux cylindres dégrossisseurs, et qu'on ne forme pas de trousses pour fabriquer le fer marchand, celui-ci est de très mauvaise qualité, sans nerf, à facettes plus ou moins larges, et tellement cassant, qu'une barre peut se briser en plusieurs morceaux en la renversant à terre.

Le cinglage préalable au marteau améliore déjà ce fer sensiblement.

Le fer fabriqué de la même manière, mais avec du fin métal, est meilleur encore, et présente dans sa cassure un mélange de nerf et de facettes.

En puddlant sur fin métal, cinglant au marteau et formant des trousses, ont obtient un bon fer, et l'on améliore beaucoup sa qualité en recoupant le fer marchand pour en former de nouvelles trousses. On obtient, par ce dernier moyen, le meilleur fer qu'on puisse avoir au laminoir, à part le fer de riblons, sans trop augmenter les frais de fabrication.

Le fer laminé en trousses présente ordinairement une cassure soyeuse, d'un gris clair, une espèce de nerf qui n'est pas toujours l'indice d'une bonne qualité, parce qu'il est produit par une réunion de fibres constamment comprimées et étirées dans le même sens, et qui ont quelquefois peu d'adhérence entre elles.

Souvent il suffit de recuire ce fer au rouge, pour que le nerf disparaisse en tout ou en partie; mais lorsqu'il reparaît après le refroidissement, on peut être certain que le fer est très bon.

Le fer fabriqué au marteau est toujours meilleur que celui que l'on fait au laminoir avec les mêmes matières, d'abord parce que l'action du marteau est plus efficace pour chasser les moindres parcelles de scories interposées dans la masse, et ensuite parce que l'étirage au marteau exige plusieurs chaudes qui améliorent la qualité du fer. L'avantage de l'emploi des laminoirs est donc surtout dans la célérité de la fabrication et dans la parfaite égalité des barres d'un même échantillon.

Matières employées par tonne de fer. Selon les déchets plus ou moins considérables des diverses opérations, et les dimensions des fers, la mise de fonte aux 1,000 kil. de fer varie de 1,400 à 1,450 kil. pour les gros et moyens échantillons, et s'élève jusqu'à 1,500 kil. pour les petits fers.

En évaluant en houille tout le combustible employé depuis le finage

jusqu'au finissage, on trouve que la consommation par 1,000 kil. de fer est, au minimum, de 3,200 kil. de houille, et qu'elle peut s'élever jusqu'à 3,600 kil., non compris la consommation des fourneaux de machines, qui sera indiquée dans la Section suivante.

Ces limites supposent une houille de bonne qualité, et peuvent être dépassées d'un tiers à moitié en sus avec un combustible médiocre.

CLASSEMENT DES FERS.

Dans les forges à l'anglaise, on classe ordinairement les fers sous le rapport de leur qualité et sous celui de leurs dimensions.

On désigne par fers n° 0 ceux qui proviennent de bidons simplement réchauffés; par fers n° 1, les fers ordinaires à une trousse; par fers n° 2, les fers à deux trousses, et par fer n° 3, celui qui est fabriqué avec des riblons ou de la ferraille.

Sous le rapport des dimensions, les fers se classent ordinairement :

1°. En fers grosse forge, comprenant les plats de plus de 12 lignes de largeur, et de 6 d'épaisseur; les fers de 18 à 48 lignes de largeur, sur 4 d'épaisseur, et les fers carrés de 9 lignes et au-dessus.

2°. En fers petite forge, 1re *classe,* comprenant les plats de 12 à 17, sur 4 et 5; de 18 à 48, sur 3; les carrés de 8 et 8 ½; les ronds de 10 lignes et au-dessus.

2e *classe,* comprenant les plats de 8 à 11, sur 4; ceux de 12 à 17, sur 2 ½ à 3; les carrés de 6 à 7, et les ronds de 8 à 9.

3°. En fers martinets, par analogie avec les fers martelés qui portent ce nom.

1re *classe,* se composant des plats de 8 à 11, sur 2 ½ à 3; des carrés de 5, et des ronds de 6 et 7.

2e *classe.* Plats de 6 et 7, sur 2 ½ à 3; de 8 à 11, sur 2; carrés de 4 et 4 ½; ronds de 4 ½ et 5.

3e *classe.* Plats de 6 et 7, sur 1 ½ à 2; carrés de 3 et 3 ½; ronds de 3, 3 ½ et 4.

Ce classement, établi d'après les frais de fabrication qu'entraînent les divers échantillons, est susceptible de varier un peu, selon les localités et les exigences du commerce.

SECTION V.

RÉSULTATS D'EXPÉRIENCE

SUR L'ENTRETIEN, LES FRAIS DE FABRICATION ET L'ORGANISATION DES FORGES A L'ANGLAISE.

Les données réunies dans cette section ont été principalement recueillies à l'usine de Terrenoire (Loire), à une époque où la fabrication avait atteint dans son ensemble autant de régularité que possible. Celles qui se rapportent à l'organisation des forges ont été prises, non seulement dans cette usine, mais encore dans plusieurs établissemens de France et d'Angleterre, le mieux constitués et le plus complets.

Ces données, basées sur une fabrication annuelle de cinq à sept millions de kilogrammes de fer, ne doivent pas, en général, être considérées comme absolues, mais comme des moyennes susceptibles d'augmentation pour les fabrications moindres, et de quelque diminution lorsqu'au contraire on travaille sur une plus grande échelle. On suppose, dans tous les cas, que les opérations soient bien conduites, se succèdent régulièrement et avec les moindres pertes de temps possibles.

Entretien du matériel.

Fineries. La destruction dans les fineries porte principalement sur les pièces de moulages qui forment l'entourage du creuset et les plaques de tuyères, sur les tuyères et sur la sole en briques réfractaires.

L'usé en moulages est d'environ $5^{k}14$ par tonne de fin métal; mais on ne perd en réalité qu'à peu près le tiers de ce poids, et le surplus passe comme fonte brute aux fineries.

La durée d'une tuyère à eau correspond à un produit d'environ 55 tonnes de fin métal.

Pour la sole, il faut une brique réfractaire de $0^{m}10$ d'épaisseur, $0^{m}25$ de largeur et $0^{m}40$ de longueur par trois tonnes de fin métal, en supposant ces briques de bonne qualité et faites avec tout le soin nécessaire. On les pose de champ sur un des grands côtés.

Fours à puddler et à réchauffer. On compte, pour l'entretien des fours, 21 à 22 briques réfractaires neuves par tonne de fer fini, dont $\frac{2}{5}$ environ employées pour les fours à réchauffer et $\frac{3}{5}$ pour les fours à puddler. Ces briques ont ordinairement 0^m06 d'épaisseur, 0^m12 de largeur et 0^m25 de longueur. Une partie des briques de démolition rentre dans les constructions, le reste est pilé pour faire de nouvelles briques ou pour mélanger à la terre réfractaire qui sert de mortier, et dont il faut 9^k5 par tonne de fer fini.

Il faut ordinairement renouveler les ponts de chauffe et les voûtes toutes les trois semaines, et reconstruire à neuf l'intérieur des fours tous les trois mois.

L'usé en moulages, pour les soles de fours, portes, seuils et tisards, est de 0^k84 par tonne de fonte, mais les $\frac{4}{5}$ environ de ces moulages repassent aux fineries.

Lorsque le puddlage et le réchauffage se font sur soles de sable, il faut 90 kil. de quarz par tonne de fer fini, dont $\frac{2}{5}$ à peu près pour les fours à puddler et $\frac{3}{5}$ pour les fours à réchauffer, en réemployant pour les fours à puddler une partie des vieilles soles, que l'on pulvérise.

Marteau, dégrossisseurs et cisailles. Ce sont les ruptures des manches de marteau, des marteaux et des enclumes qui produisent la plus grande consommation de moulages pour le dégrossissage du fer. Cette consommation peut s'élever à 7 kil. par tonne de fer dégrossi, et rarement elle est moindre que 5 kil. : les cylindres dégrossisseurs et les cisailles y entrent, au plus, pour un $\frac{1}{10}$. Du reste, ces moulages repassent en totalité aux fineries, ou peuvent être réemployés dans les fonderies comme fontes brutes.

Cylindres finisseurs. L'usé en moulages pour les équipages finisseurs est moyennement de 2^k33 par tonne de fer fini. Les $\frac{3}{10}$ de cette quantité sont fournis par les cages, les manchons et les allonges, et le surplus par les cylindres.

Machines. L'usé en moulages pour roues d'engrenage, arbres et pièces de toute espèce dépendantes des communications de mouvement, est d'environ $1^k,16$ par tonne de fer fini.

Pour le graissage des machines, des tourillons d'arbres et de cylindres, on use moyennement $0^k,10$ d'huile et 1^k11 de suif par tonne de fer dégrossi, et en outre, 0^k216 d'huile et 1^k434 de suif par tonne de fer fini.

Frais de fabrication.

On ne peut mieux donner une juste idée des frais de toute nature qu'entraine la fabrication du fer par la méthode anglaise, qu'en les énumérant avec détail pour toutes les opérations successives. Ces frais sont, il est vrai, variables selon les localités, mais ils doivent conserver à peu près les mêmes rapports entre eux, sauf pour ce qui concerne les matières premières, et, par ce motif, il nous a paru utile de les faire connaître.

Les données ci-après ont été établies d'après les livres de fabrication de l'usine de Terrenoire, pour l'année 1828, et, quoique depuis lors on ait obtenu des économies sur la majeure partie des dépenses, on peut encore en faire usage aujourd'hui, sauf à les considérer comme des limites qu'il ne faudrait pas franchir.

Combustible pour les machines. Toute la force motrice de l'usine est fournie par trois machines à vapeur, dont une de vingt-sept à trente chevaux pour les deux fineries doubles à six et à quatre tuyères; une de trente-cinq chevaux pour mettre en mouvement le marteau, les cylindres dégrossisseurs et les petites cisailles; et une de quatre-vingts chevaux pour mener tous les équipages de cylindres finisseurs, et en outre, la tôlerie, la fenderie, les laminoirs à cercles, le tour et une grande cisaille. Toutes ces machines sont à basse pression.

Pour faire marcher la machine soufflante des fineries, on brûle de 72 à 80 kil. de houille par tonne de fin métal.

Avec les fineries simples à trois tuyères, on brûlait moyennement, pour la machine soufflante, 108 kil. de houille par tonne de fin métal.

Pour le dégrossissage du fer, la machine consomme en moyenne 227 kil. de charbon menu et grêle par tonne de fer dégrossi.

Enfin la machine des équipages finisseurs brûle 478 kil. de houille par tonne de fer fini de toute espèce.

Fineries. La fabrication journalière étant de 22 à 24 tonnes de fin métal, les frais par tonne se composaient des élémens ci-après :

Cassage de la fonte, pesage et port aux feux	» fr.	65 c.
Finage, main-d'œuvre des affineurs et aides	2	50
Décrassage des feux	»	20
Usé en moulages, déduction faite des boccages ou fontes réemployées	1	25
Entretien des feux en tuyères, outils et ustensiles divers	»	65
Total	5 fr.	25 c.

Par suite de l'accroissement de fabrication dû à l'établissement des deux fineries doubles, les frais de main-d'œuvre ont été réduits à 2 fr. 25 c., et ceux du cassage, etc., à 60 c. Les autres frais ont également subi une légère réduction.

Puddlage et dégrossissage. Les frais suivans sont répartis sur une fabrication de 5,000 tonnes, et sont établis pour une tonne de fer dégrossi.

Pesage de fonte et fin métal, port aux fours	0f875
Puddlage, main-d'œuvre	9,285
Martelage	1,385
Main-d'œuvre aux cylindres dégrossisseurs	1,425
Décrassage des fours	0,365
Machinistes et chauffeurs de la machine à vapeur	0,750
Main-d'œuvre de maçonnerie aux fours	0,540
Main-d'œuvre de charpentiers aux marteau et cylindres	0,150
Main-d'œuvre de réparations diverses	0,150
Fournitures de forge, en outils et réparation, aux fours	5,730
Fournitures de forge, en outils et réparation, au marteau	0,410
Fournitures de forge, en outils et réparation, aux dégrossisseurs	0,170
Fournitures de forge, en outils et réparation, à la machine	0,050
Moulages usés aux marteau et dégrossisseurs, boccages déduits	1,760
Moulages usés aux fours à puddler	0,200
Briques et terre réfractaires pour réparer les fours	2,490
Quarz pilé pour soles	0,070
Main-d'œuvre de triturage des quarz et terres	0,195
Total	26f000

Finissage. La fabrication ne s'étant pas élevée au-delà de 4,000 tonnes de fers finis de toute espèce, les tôles exceptées, les dépenses par tonnes de fer fini et livrable au commerce ont été ainsi qu'il suit :

Pesage, cisaillage, port aux fours à réchauffer et affranchissage	0f680
Réchauffage, main-d'œuvre	3,080
Laminage, main-d'œuvre de toute nature	6,480
Bottelage des petits fers	0,425
Pesage des fers finis et main-d'œuvre pour expédition	0,985
Main-d'œuvre pour tourner les cylindres	0,330
Machinistes et chauffeurs de la machine à vapeur	1,025
Décrassage des fours	0,445
Journées de maçons aux fours	0,465
	13f915

Report.............	13f915
Journées de charpentiers aux laminoirs et mouvemens....................	0,455
Journées aux réparations et entretien des laminoirs et mouvemens..........	1,290
Journées au triturage des terres, quarz et vieilles briques..................	0,290
Journées de chevaux pour triturage des terres, quarz et vieilles briques......	0,250
Quarz pour soles..	0,375
Briques et terre réfractaires pour entretien des fours......................	2,040
Réparations de forge aux laminoirs et fenderie..........................	0,590
Réparations de forge à la machine, aux tours, aux cisailles, et aux divers ustensiles de l'usine relatifs aux fers finis..................................	0,500
Moulages usés pour laminoirs, cisailles, tours, etc., déduction faite des boccages..	0,885
Total...............	20f590

En supposant une fabrication de 6,000 à 7,000 tonnes de fers finis, on peut estimer de $\frac{1}{10}$ à $\frac{1}{8}$ la diminution possible des frais de dégrossissage et de finissage, mais au-delà il n'y aurait probablement pas de réduction sensible, lors même qu'on atteindrait à 10,000 tonnes de fabrication annuelle, parce que les salaires d'ouvriers ne peuvent baisser au-delà d'un certain taux, soit qu'ils travaillent à journée, soit qu'ils travaillent à façon. Ce dernier mode est toujours le plus avantageux, et on doit l'établir pour tous les travaux qui en sont susceptibles.

Bases d'organisation.

Dans l'organisation des forges à l'anglaise, on ne compte ordinairement que sur deux cent soixante-dix jours de travail par an, ou au plus sur deux cent quatre-vingts, l'usage étant de ne travailler que six jours par semaine, et les fêtes usuelles enlevant toujours au-delà d'un mois au travail.

Pour l'évaluation des appareils et machines nécessaires, la semaine est prise pour unité de temps, et c'est d'après la quantité de produits à fabriquer pendant cette période que l'on règle le nombre de foyers de toute espèce, la quantité de machines-outils à employer, et la force motrice qu'il faut leur appliquer.

On doit de préférence se baser sur les plus forts déchets que l'on puisse passer sans rendre une fabrication onéreuse, et, à cet égard, on peut admettre comme limites convenables que

1,500 kil. de fonte brute doivent rendre 1,350 kil. de fin métal;

1,350 kil. de fin métal, 1,200 kil. de fer puddlé;

1,200 kil. de fer puddlé, 1,000 kil. de fer fini.

Les produits des fineries et des fours à puddler doivent être au contraire comptés au-dessous du maximum et dans les proportions suivantes :

Fineries à six tuyères, 130 tonnes de fin métal par semaine.

Fineries à quatre tuyères, 90 tonnes.

Fineries simples à trois tuyères, 48 tonnes.

Les fours à puddler servis par tournées de huit en huit heures peuvent être comptés comme produisant chacun 16,700 kil. de fer dégrossi par semaine lorsqu'on travaille sur fin métal, et 11,200 kil. en puddlant de la fonte.

Dans une usine destinée à fabriquer quatre à cinq mille tonnes de fer par an, il faut avoir deux ou trois fours à puddler de rechange, afin que la fabrication ne soit pas ralentie par les réparations. Quatre ou cinq fours de rechange suffisent pour une fabrication double.

Le nombre des fours à réchauffer est ordinairement la moitié de celui des fours à puddler; mais, dans beaucoup d'usines, on admet entre ces nombres le rapport de 5 à 12.

Un marteau cingleur, suivi d'un laminoir dégrossisseur, peut desservir aisément vingt fours à puddler, et, avec d'habiles ouvriers, il peut en desservir jusqu'à vingt-cinq.

Un laminoir dégrossisseur sans marteau, ou un marteau seul, suffisent pour quinze à seize fours à puddler.

Pour une fabrication de 100 à 125 tonnes de fer par semaine, il suffit d'une grande cisaille pour couper le fer dégrossi et affranchir les barres; mais il est préférable d'avoir, en outre, une petite cisaille pour ce dernier travail, surtout si les produits doivent dépasser 100 tonnes.

Le produit des laminoirs peut être compté comme il a été indiqué dans la Section précédente (*Finissage du fer*), c'est-à-dire :

A 80 tonnes par semaine pour chaque laminoir marchand travaillant en gros fers;

A 60 tonnes, pour les mêmes laminoirs travaillant en moyens fers;

A 18 tonnes, pour chaque petit laminoir travaillant en échantillons gros et moyens;

Et à 12 tonnes, pour les mêmes laminoirs ne confectionnant que des fers moyens et petits.

On compte ordinairement, qu'indépendamment des laminoirs préparateurs, il faut, pour le finissage du fer marchand, une paire de laminoirs pour cinq fours à puddler si l'on ne veut faire que de gros fer; une paire

pour quatre fours en faisant des échantillons moyens. Les deux paires, réunies en un seul train avec le laminoir préparateur, suffisent pour dix fours.

Les petits laminoirs s'établissent d'après la proportion de petits fers que l'on veut fabriquer; mais, dans la plupart des usines, il y a autant de petits laminoirs que de laminoirs marchands.

Un laminoir à tôle peut faire moyennement 10 tonnes par semaine, en tôles de tous échantillons, et ce produit s'ajoute à celui des laminoirs précédens.

Chaque laminoir à tôle, pour travailler sans interruption, doit être muni de deux fours à réchauffer et recuire les tôles. Un seul four à réchauffer ordinaire suffit pour préparer les bidons à deux laminoirs. (Voy. *Fabrication de la tôle.*)

Les laminoirs à cercles et à rubans, ainsi que les fenderies, n'ajoutent rien à la masse des produits d'une forge, parce que ces outils ne font que transformer des fers provenant des laminoirs marchands ou des petits laminoirs.

Le nombre de jeux de laminoirs à deux ou trois cylindres, nécessaire pour fabriquer tous les échantillons usuels, peut varier de 35 à 40, selon la distribution des cannelures.

Force motrice. A l'exception des machines soufflantes de fineries, dont la force motrice peut se calculer d'après le volume d'air à fournir et la pression sous laquelle il doit être lancé, ce n'est que par expérience que l'on peut parvenir à déterminer la puissance nécessaire pour fabriquer une quantité donnée de fer dans les forges à l'anglaise. On sent, d'ailleurs, que les différences dans l'exécution des pièces, dans la précision du montage, dans les frottemens à raison de poids plus ou moins considérables, ainsi que dans la nature des fers et dans la température à laquelle on les travaille, sont autant de causes de difficultés dans les observations et de divergences dans les résultats, en sorte qu'on ne peut arriver qu'à des approximations, soit pour la force totale nécessaire, soit pour sa répartition entre les diverses machines-outils.

La force motrice pour les fineries se compte à part, et en prenant pour base le volume et la pression d'air indiqués dans la précédente section, il faut de 2 $\frac{3}{4}$ à 3 chevaux de force par tuyère à alimenter (1). C'est sur ce

(1) Ici et dans ce qui suit, le cheval de force est compté à raison de 75 kil. élevés à 1 mèt. par seconde.

pied qu'a été établie, par M. Walter, la machine soufflante des fineries de Terrenoire, qui, ainsi qu'on l'a vu, donnent des produits très avantageux.

La force motrice pour une usine complète, non compris les fineries, varie, dans presque toutes les usines, pour une même production de fer; dans le Staffordshire (Angleterre) on donne ordinairement aux machines à vapeur une force de 60 chevaux pour une fabrication de 120 tonnes par semaine, soit 0,50 chevaux par tonne.

Dans la même contrée, il existe des forges fabriquant 180 tonnes par semaine, et qui emploient 120 chevaux de force, soit 0,66 chevaux par tonne.

Dans le pays de Galles, on emploie 65 à 70 chevaux de force pour fabriquer 120 tonnes, ce qui revient à 0,58 chevaux environ par tonne.

L'usine de Terrenoire, montée pour fabriquer au moins 200 tonnes par semaine, a une puissance motrice de 115 chevaux, soit de 0,575 chevaux par tonne.

Enfin, les forges de Decazeville, établies pour produire 250 tonnes par semaine, présentent, dans l'ensemble de leurs machines, une force de 120 chevaux, soit 0,48 chevaux par tonne.

En prenant la moyenne de ces diverses quantités, on trouve que la force correspondante à une tonne de fer par semaine est de 0,56 chevaux, ce qui s'éloigne probablement très peu de la force nécessaire et convenable.

Quant à la répartition de la force motrice entre les diverses industries d'une forge, voici comme elle doit se faire à peu près, selon les observations répétées plusieurs fois par M. Walter, à l'usine de Terrenoire :

Pour un marteau cingleur de poids et vitesse usuels............	15	à	20 chevaux.
Pour un laminoir dégrossisseur............................	10	à	12
Pour une paire de cylindres marchands......................	7	à	8
Pour un jeu de petits laminoirs...........................	4	à	5
Pour un laminoir à cercles................................	4	à	5
Pour un laminoir à rubans..................................	3	à	4
Pour un laminoir à tôle....................................	15	à	16
Pour un tour à cylindres...................................	2	à	3
Pour une grande cisaille à excentrique......................	2	à	2 $\frac{1}{2}$
Pour une petite cisaille....................................	$\frac{1}{2}$	à	1
Pour une paire d'espatards..................................	4	à	5
Pour une fenderie..	3	à	4

Ces nombres, appliqués à quelques usines, ont reproduit assez exactement les forces motrices qui y sont employées, et paraissent, par consé-

quent, s'éloigner peu du degré d'exactitude auquel on peut atteindre dans de semblables évaluations.

Toutefois, les nombres ci-dessus ne sont applicables qu'à l'ensemble d'une usine réunissant sur deux ou trois machines motrices, au plus, les diverses industries mentionnées, et eu égard à ce que ces industries ne fonctionnent presque jamais simultanément; mais lorsqu'on n'a à faire marcher que quelques industries séparées, il faut augmenter les forces indiquées d'un tiers en sus environ, parce que les frottemens dus au mécanisme et aux transmissions de mouvement sont proportionnellement plus considérables.

SECTION VI.

FABRICATION DU FER PAR PROCÉDÉS MIXTES.

Le besoin qui partout s'est fait sentir d'accélérer les anciens procédés de fabrication du fer, et d'y introduire plus d'économie, a fait naître l'idée de les modifier, et de disposer quelques anciennes forges de manière à y adapter une partie de la méthode anglaise, soit pour l'affinage de la fonte, soit pour l'étirage du fer.

De là trois méthodes mixtes principales : la première, usitée dans le sud du pays de Galles, et que l'on désignera sous le nom de *méthode galloise;* la seconde, qui a reçu sa principale application aux forges de Ribnick, en Silésie, et à laquelle, par ce motif, on donnera le nom de *méthode silésienne;* la troisième, connue sous le nom de *méthode champenoise,* est pratiquée en France dans plusieurs usines des départemens de la Meuse, de la Haute-Marne et de la Côte-d'Or.

Méthode galloise.

Cette méthode consiste à affiner la fonte en employant d'abord du coke, puis du charbon de bois, et à forger ensuite le fer sous le marteau, en le réchauffant dans un foyer alimenté au coke. Elle est principalement em-

ployée pour préparer le fer destiné à la fabrication de la tôle avec laquelle on fait le ferblanc.

Elle se divise en trois opérations : 1°. *le finage ou mazéage ;* 2°. *l'affinage au charbon de bois ;* 3°. *le soudage et l'étirage.*

Le *finage* s'exécute au coke dans un petit feu de finerie à une seule tuyère, d'une manière analogue à celle indiquée dans la IVe section. Le creuset a de 25 à 27 centimètres de profondeur au-dessous de la tuyère; sa forme est à peu près celle d'un carré de 50 à 60 centimètres de côté. On le construit, soit en briques réfractaires, soit en fortes plaques de fonte; mais, dans tous les cas, le devant est fermé par une plaque de fonte dans laquelle est réservé un trou de coulée. L'inclinaison de la tuyère est variable : au commencement de l'opération, elle est presque horizontale, afin d'accélérer la fusion, et lorsque la fusion est achevée, on l'incline de plus en plus, de manière que vers la fin du mazéage le vent plonge à peu près vers le milieu du creuset pour mieux décarburer la fonte.

On charge à chaque opération de 165 à 170 kil. de fonte, qui rendent 145 à 150 kil. de fin métal. Le finage dure de une heure à une heure un quart, et l'on consomme moyennement 650 kil. de coke par tonne de fin métal.

On conduit le travail de manière que le fin métal étant coulé en plaque et refroidi par les moyens ordinaires, ne soit pas caverneux ou ne le soit que légèrement à sa surface, parce qu'il convient mieux ainsi pour l'affinage. Le plus ordinairement, le fin métal étant arrivé au point convenable, on le fait couler immédiatement dans le foyer d'affinerie, qui est alors placé à un niveau inférieur.

Les fontes que l'on traite ainsi sont en général de bonnes fontes provenant de fourneaux au coke; mais les fontes au charbon de bois peuvent être traitées de la même manière, en modifiant l'inclinaison de la tuyère, et surtout la profondeur du creuset, selon leur nature. (*Voyez* les art. *Affinage,* section II et IV.)

La quantité d'air nécessaire pour une petite finerie est d'environ 200 pieds cubes par minute.

L'*affinage au charbon de bois* s'exécute dans un foyer semblable aux affineries françaises, et placé, comme ces dernières, sous une vaste cheminée soutenue par des piliers de fonte. Le creuset a environ 0^{m}54 de largeur, 0^{m}70 de longueur, et n'a qu'une seule tuyère placée horizontalement à 0^{m}19 au-dessus du fond.

L'affinage précédent étant terminé, on arrête le vent, on nettoie le creuset, et on rejette une partie du charbon et des scories du côté de la tuyère, en préparant une cavité du côté opposé pour recevoir le fin métal en fusion. Dès qu'il y est rassemblé, on l'arrose d'un peu d'eau pour solidifier les scories surnageant, on enlève la plus grande partie de ces dernières, et on recouvre le métal de charbons incandescens provenant de l'opération précédente. L'affineur donne alors le vent, en l'augmentant graduellement pendant cinq ou six minutes, de manière qu'après ce temps le foyer reçoive toute la quantité d'air nécessaire jusqu'à la fin de l'opération, c'est-à-dire de 180 à 200 pieds cubes d'air par minute.

Il brasse presque constamment le métal jusqu'à ce qu'il commence à prendre consistance, puis ensuite il soulève la masse pour la présenter à la tuyère. Dès qu'il la juge suffisamment affinée, ce qui arrive au bout de trois quarts d'heure environ, il la divise pour former plusieurs lopins de fer du poids de 5 à 6 kil., que l'on forge séparément.

On se sert, à cet effet, d'un marteau à drôme semblable à ceux des forges anciennes, dont le poids est de 320 à 340 kil., et qui frappe de 100 à 110 coups par minute, lorsqu'on lui donne toute sa vitesse.

On forge les lopins en petites plaques à peu près carrées et de 6 à 7 lignes d'épaisseur, on les plonge immédiatement après dans l'eau, puis on les partage en deux ou trois morceaux au moyen d'un hacheron sur lequel frappe le marteau.

On consomme, dans l'opération de l'affinage, de 9 à 11 hectolitres de charbon de bois de chêne ou de hêtre, par 1,000 kil. de fer en plaques, c'est-à-dire au plus 265 kil. de charbon.

Il faut observer, toutefois, que le fer n'est pas complétement affiné, et qu'on ne l'amène qu'au degré nécessaire pour qu'il puisse soutenir le choc du marteau. A cet état, il est cassant, et ne présente dans sa cassure qu'un grain très gros et de larges facettes.

Le *soudage* et l'*étirage* ont pour but de donner au fer la qualité et la ductilité qu'il doit avoir pour l'usage auquel on le destine. Le soudage s'opère dans un four alimenté au coke et muni d'une tuyère, représenté par les *fig.* 1, 2, 3 et 4, Pl. 32. Il se compose d'un foyer FF et de deux chauffes latérales AA. La sole SS du foyer est faite en poussier de coke, préalablement humecté et bien battu; on lui donne une certaine concavité et de l'inclinaison vers le laiterol *l* pratiqué sur le devant II du four. Les soles des chauffes sont faites en briques réfractaires posées de champ. Sous

l'une des chauffes est pratiquée, dans la paroi du foyer, une ouverture de tuyère *a*, dans laquelle s'engage la buse *b* qui porte le vent dans le foyer. L'ouverture de cette buse varie de 4 à 5 centimètres de diamètre.

On introduit le coke dans le foyer par un tisard T, devant lequel est une plaque GG, où l'on entasse ce combustible de manière qu'il bouche l'ouverture du tisard.

Sur le devant du four sont les baies O, O, des portes par lesquelles on introduit le fer dans le foyer, et celles des chauffes; ces baies sont fermées par des portes P, PP', garnies en briques réfractaires, et manœuvrées au moyen de bascules.

Les chauffes A, A communiquent avec le foyer et en reçoivent la chaleur par des passages B, B; c'est dans ces chauffes que le fer reçoit une première chaude et acquiert la chaleur rouge avant d'être porté dans le foyer. Les petits fours ne sont quelquefois munis que d'un seul compartiment de cette espèce.

En avant des portes est une plaque HH sur laquelle on pose les paquets de fer à souder, et qui sert à les faire passer facilement des chauffes dans le foyer.

Tout l'intérieur de ce four est construit en briques réfractaires; l'extérieur est en briques ordinaires consolidées par des armatures en fer ou en plaques de fonte. Il n'y a pas de cheminée.

Le foyer étant rempli de coke incandescent jusqu'à 5 ou 6 centimètres du niveau des portes, on donne le vent. En même temps on charge les soles des chauffes de trousses composées de 3 ou 4 plaquettes de fer affiné, et que l'on place sur une barre de fer aplatie à l'une de ses extrémités, comme l'indiquent les *fig.* 2 et 4. Bientôt le coke est complétement embrasé, et les trousses parviennent presque au rouge blanc; on les porte alors dans le foyer, en faisant reposer le bout de la barre sur un appui *m*, ménagée dans l'intérieur du four, de manière que le métal se trouve au-dessus du combustible sans le toucher; on ferme ensuite les portes P en bouchant les ouvertures avec un peu de terre grasse. Quand les trousses sont parvenues au blanc soudant, ce qui exige très peu de temps, vu qu'elles étaient rouges en entrant dans le foyer, on les porte sous le marteau, où les plaquettes sont soudées ensemble et sur la barre de fer, puis on étire rapidement en barres de 10 centimètres de largeur sur 5 d'épaisseur. Ces barres sont ensuite recoupées en morceaux de 0^m80 à 0^m90 de longueur.

Aussitôt que les chauffes sont libres, on y porte de nouvelles trousses;

et après chaque soudage le chauffeur a soin d'introduire du coke dans le foyer pour l'entretenir toujours à même hauteur.

Le peu de scories qui s'écoule des trousses est absorbé par la sole en poussier de coke, et cette dernière peut souvent servir pendant deux semaines. Si les scories viennent à s'amonceler, ce dont on s'aperçoit par l'obstruction de la tuyère, on perce le laiterol *l*, qui est ordinairement bouché, et on facilite leur sortie avec un ringard.

Lorsqu'il est nécessaire de refaire la sole, on défait le muret H, *fig.* 3 et 4, qui ferme le devant du fourneau, pour enlever tout ou partie de l'ancienne sole, selon le besoin.

Le fer ainsi fabriqué est d'une excellente qualité, et peut être placé immédiatement après le fer de Suède.

Dans ce procédé on consomme 1,380 kil. de fonte pour obtenir 1,166 kil. de fer en plaques, lesquelles rendent 1,000 kil. de fer en barres. Ainsi le déchet total est de 27,5 pour 100.

La consommation de coke pour le soudage est d'environ 450 kil. par tonne de fer en barres.

En résumant les consommations de coke par tonne de fer en barres, on trouve qu'elle est de 1,240 kil. de coke et de 310 kil. de charbon de bois, ce qui présente une économie très considérable pour ce dernier combustible.

On fait marcher simultanément deux fineries et deux foyers d'affinage, lesquels sont desservis par un seul marteau. Il faut deux fours de soudage et un second marteau pour l'étirage; ce marteau pèse 450 à 500 kil., et frappe 100 coups par minute. Une usine ainsi composée peut produire par semaine 12 à 13 tonnes de fer en barres.

Ce procédé est susceptible d'être employé avec avantage pour la fabrication des fers ordinaires, en affinant davantage le fer, le forgeant en lopins de 10 à 12 kil., et le réchauffant ensuite dans des feux de chaufferie, ainsi que cela se pratique dans la méthode champenoise, dont il sera bientôt question. La consommation de charbon de bois serait plus considérable; mais en admettant qu'elle soit doublée, il y aurait encore une économie importante, et la fabrication marcherait beaucoup plus rapidement.

Méthode silésienne.

Depuis 1811, on suit, à Ribnick, Haute-Silésie, une méthode d'affinage qui consiste à faire rougir la fonte dans des fours à réverbère alimentés à

la houille, puis à la porter dans cet état aux feux d'affinerie, où elle est traitée à l'ordinaire au charbon de bois. Les loupes sont cinglées sous des marteaux, en pièces ou lopins prismatiques, et ces derniers, après avoir été réchauffés à la houille dans un four à reverbère, sont ensuite étirés au laminoir.

A l'origine de ce procédé, on mettait la fonte en complète fusion dans les fours à réverbère, et on la recevait ainsi dans les affineries; mais on renonça bientôt à ce moyen, quoiqu'il procurât une plus grande économie de charbon de bois, parce que la fusion opérée sur de trop petites quantités à la fois produisait des déchets trop considérables, et occasionnait une trop forte consommation de houille.

A l'usine de Ribnick, il y a deux fours à réverbère pour la préparation de la fonte, quatre feux d'affinerie, deux marteaux à drôme pour cingler les loupes, un four à réchauffer et un équipage de laminoirs pour étirer le fer.

Les fours à réverbère qui servent à faire rougir la fonte ont une sole plane de $3^{m}40$ de longueur sur $0^{m}82$ de largeur. La plus grande hauteur de leur voûte est de $0^{m}51$, et leur chauffe a de $0^{m}75$ à $0^{m}80$ sur $0^{m}50$ à $0^{m}55$. On leur donne un assez faible tirage pour que la fonte ne puisse entrer en fusion. Sur un des côtés de la sole sont trois portes à bascules qui servent à introduire et à retirer la fonte.

Les feux d'affinerie ont $0^{m}27$ de profondeur de la sole à la tuyère, $0^{m}77$ de longueur de la face de chio à celle de la rustine, et $0^{m}72$ de la face de tuyère à celle de contrevent. Les plaques de rustine et de contrevent sont inclinées en dehors du foyer d'environ 5 degrés, et les autres sont verticales. La tuyère est placée à $0^{m}27$ de la rustine, inclinée de 10 degrés, et avance de $0^{m}09$ dans le foyer. La buse est de $0^{m}18$ en arrière de l'œil de la tuyère.

Les marteaux à pannes étroites, comme celles des marteaux des forges françaises, pèsent de 260 à 280 kil., et frappent de 95 à 100 coups par minute.

Le four à réchauffer est à peu près construit comme ceux des forges à l'anglaise, et a les mêmes dimensions.

La fonte étant cassée en morceaux du poids de 200 kil. environ, on la porte dans les fours à réverbère, et lorsqu'elle est rouge, on la transporte aux feux d'affinerie sur de petits chariots en fer. L'affinage se pratique absolument comme dans la méthode allemande, et l'on n'y emploie que du charbon de bois de pin et de sapin.

A chaque opération on enlève environ 50 kil. de fer par attachement, en lopins de 10 à 12 kil.; le reste de la masse est réuni en une loupe qu'on cingle sous le marteau, où on la divise en quatre lopins.

Les lopins sont transportés à l'atelier des laminoirs, et là ils sont réchauffés et étirés en barres de divers échantillons, ainsi que cela se pratique dans la méthode anglaise.

Dans cette méthode, le déchet de la fonte pour produire les lopins est de 25 pour 100, et les lopins subissent, en outre, un déchet de 10 pour 100 dans leur conversion en barres, en sorte qu'il faut 1,480 de fonte par 1,000 de fer fini. Le déchet total est donc de 32,5 pour 100, tandis que, par l'ancienne méthode, il n'était que de 28,58.

La consommation de combustible pour la préparation de la fonte et pour l'affinage est de 75^{k}72 de houille et de 0^{m},625 cubes de charbon de bois par 100 kil. de lopins; et la consommation au réchauffage pour convertir ces derniers en barres est de 43^{k}2 de houille par 100 kil. de fer en barres.

En établissant la consommation de combustible par 100 kil. de fer en barres, d'après les déchets ci-dessus indiqués, on trouve qu'elle est de 127^{k},33 de houille et de 0^{m}694 cubes de charbon de bois, ce qui, à raison de 148^{k},5 le mètre cube, fait 103 kil. de ce dernier combustible.

Par l'ancienne méthode d'affinage à l'allemande, on consommait 190^{k},82 de charbon par 100 kil. de fer en barres; ainsi la nouvelle méthode a procuré une économie de 46 pour 100 sur ce combustible.

Chaque four à réverbère, soit pour chauffer la fonte, soit pour réchauffer les lopins, emploie deux ouvriers; et chaque feu d'affinerie est desservi par cinq ouvriers chargés, en outre, du cinglage. Ces ouvriers se relèvent par postes de douze heures.

Chaque feu d'affinerie livre de 3,850 à 4,000 kil. de lopins par semaine, en sorte que chaque marteau prépare le double de cette quantité. La fabrication annuelle de fer en barres est moyennement de 125 tonnes, tandis que, par les anciens procédés, elle s'élevait, au plus, à 69 tonnes.

Bien que la méthode silésienne entraîne à des frais assez considérables de matériel, et qu'elle occasionne de plus forts déchets de fonte, ces dépenses sont plus que compensées par l'économie du combustible, et par les diminutions de main-d'œuvre et de frais généraux, qui sont la conséquence d'une fabrication plus considérable. Cependant elle est encore loin de répondre aux améliorations qu'on avait en vue en l'établissant, parce

qu'on a été forcé, jusqu'à présent, de traiter dans les feux d'affinerie de la fonte grise de hauts-fourneaux à coke, et que cette fonte, plus chargée de silicium que la fonte au charbon de bois, est plus difficile à affiner que cette dernière. Il y aurait eu certainement plus d'économie à la mazer préalablement comme dans la méthode galloise, ou à la blanchir par une seconde fusion.

Méthode champenoise.

Dans cette méthode, on s'est proposé d'accélérer l'affinage de la fonte, d'opérer sur de plus grandes quantités, et de supprimer totalement, dans la fabrication du fer, l'emploi du charbon de bois, dont le prix devient de plus en plus élevé.

A cet effet, on soumet la fonte au puddlage direct, au moyen de la houille; puis, après avoir cinglé les balles sous le marteau, on étire le fer par le même moyen, en le réchauffant dans des *chaufferies* également alimentées à la houille.

On n'emploie pour ce travail que des fontes au charbon de bois, blanches ou truitées, mais plus ordinairement blanches.

Dans quelques usines, on se sert encore de fours doubles pour l'opération du puddlage, mais plus généralement on se sert de fours à deux soles, semblables à celui que représente la Pl. 16.

Dans presque toutes les usines, on se sert, pour cingler les loupes, d'un marteau à drôme du poids de 500 à 550 kil., disposé comme l'indique la Pl. 7; mais aux forges de Jean-d'Heures (Meuse), on se sert du marteau à ordon en fonte, représenté par les Pl. 8 et 9, et dont la panne est plate. Cette disposition évite le battage des loupes au marteau à main, rassemble mieux le fer sans nuire à l'écoulement des scories, et permet de faire les lopins plus promptement et avec plus de régularité.

Les chaufferies employées sont de deux espèces. Les unes, telles que celles des forges de Jean-d'Heures, représentées par la Pl. 6, sont de simples renardières disposées pour le chauffage; les autres sont des foyers à peu près carrés, de 0^m50 à 0^m55 de côté, sur 0^m25 à 0^m27 de profondeur, fermés de trois côtés et couverts d'une petite voûte qui se prolonge en réverbère jusqu'à une cheminée placée latéralement. La sole est plane, sans pont, et a 0^m60 de largeur, sur 1^m50 à 1^m60 de longueur. Sur le côté antérieur du four, formé par la voûte, et près du foyer, se trouve une porte, par laquelle on introduit les lopins qui doivent être travaillés

dans l'opération subséquente. Là, ils sont soumis à l'action de la flamme qui s'échappe du foyer pour se rendre à la cheminée, et commencent à se réchauffer. On les pousse ensuite dans le foyer, où ils reçoivent une chaude suante (1).

Dans les chaufferies découvertes, les lopins commencent à se réchauffer sur des barres de fer ou chenets placés en dessus du foyer, comme l'indique la *fig.* 5, Pl. 6.

Les deux espèces de chaufferies reçoivent le vent par une seule tuyère, contenant une ou deux buses. La quantité de vent qui leur est nécessaire est de 100 à 120 pieds cubes d'air par minute.

Les marteaux sous lesquels se fait l'étirage en barres sont des marteaux à drôme ordinaires, comme celui qui est figuré par les Pl. 7 et 8.

Le puddlage de la fonte s'opère dans un bain de scories riches, comme il a été indiqué dans la cinquième Section. Aux forges de Jean-d'Heures, la charge des fours est de 200 kil., et l'on fait dix-huit opérations par vingt-quatre heures; ainsi chacune d'elles ne dure qu'une heure vingt minutes.

Avec les fontes blanches, ou truitées blanches, que l'on emploie dans cette usine, le rendement en lopins cinglés est moyennement de 185 kil. par charge, en sorte que le déchet ne s'élève qu'à 7,5 p. $\frac{0}{0}$.

La consommation de houille par tonne de fer est à peu près la même que celle indiquée dans la Section précédente.

Les loupes, au sortir des fours, sont traînées sous le marteau cingleur, et sont converties en lopins de 10 à 13 cent. d'équarrissage, sur 40 à 42 cent. de longueur.

Le réchauffage se fait à l'ordinaire, en engageant les lopins ou pièces par un bout dans les feux de chaufferies, et l'on étire les fers en barres, en suivant la marche usitée dans les forges à l'allemande.

Il faut une chaufferie pour chaque four à puddler, et ces deux feux peuvent alors fabriquer jusqu'à 16 tonnes de fer en barres de gros échantillon par semaine ou en six jours, et moyennement 12 tonnes en échantillons assortis.

Le déchet à l'étirage est de 16 à 17 pour 100.

Ce procédé exige peu de frais d'établissement, et il est surtout avanta-

(1) Ces chaufferies ont la plus grande analogie avec les affineries à réverbère dont il sera question dans la dernière section de cette Partie.

geux dans les localités où l'on ne peut avoir que de la fonte de mauvaise qualité, parce que ces fontes, traitées dans les fours à puddler, donnent un fer moins cassant que si leur affinage s'effectuait au charbon de bois.

On n'obtient en général qu'un fer de qualité médiocre, mais on l'améliore sensiblement en prenant les précautions suivantes :

1°. Faire écouler une partie des scories de puddlage lorsque les balles sont formées, afin qu'elles s'affinent plus complétement sous l'action du courant d'air. Le surplus du déchet qui en résulte est, au plus, de 1 pour 100 sur les lopins.

2°. Éviter l'emploi de la houille pyriteuse pour le réchauffage, et ne plonger les lopins dans le foyer que lorsque la houille est réduite en coke.

3°. Ne pas conserver trop de scories dans la chaufferie, afin que le fer, plus exposé à l'action du vent, puisse mieux s'épurer.

En employant ces moyens, on ne consomme encore, au plus, que 1,250 kil. de fonte par tonne de fer. Lorsqu'on n'en fait pas usage, la consommation peut se réduire à 1,200 kil.; mais presque toujours on n'obtient qu'un fer à gros grains et cassant.

La consommation de houille aux chaufferies est à peu près la même, quelle que soit la disposition de ces foyers. On brûle ordinairement 1,000 kil. de houille par 1,000 kil. de fer en barres.

Dans quelques usines, on n'a adopté ou conservé du procédé champenois, que le puddlage; et on se sert de charbon de bois pour le réchauffage et l'étirage, parce le fer acquiert ainsi plus de qualité. La consommation de charbon pour cette opération varie de 90 à 110 kil. pour 100 de fer.

Il est probable que le coke, et surtout celui que l'on fabrique à l'air libre, serait employé avec avantage pour réchauffer le fer; on éviterait ainsi, ou du moins on diminuerait considérablement les inconvéniens que produit le soufre contenu dans les houilles.

SECTION VII.

AFFINAGE DE LA FERRAILLE.

L'élaboration des ferrailles et des *riblons*, ou rognures de fer, offre un moyen d'utiliser ces matières, et d'obtenir, surtout lorsqu'elles sont employées seules, un fer d'excellente qualité, très doux, très nerveux, et qu'il est presque impossible de casser à froid sans le secours de la tranche.

On peut employer même la ferraille la plus menue, telle que les petites rognures de tôle, les clous, les bouts de fil d'archal, toute sorte de casserie, etc., en ayant soin toutefois d'écarter les parties qui contiennent du cuivre ou du zinc, parce que ces métaux sont un obstacle invincible au soudage.

On convertit les ferrailles en fer, soit en les mélangeant à la fonte ou au fin métal, lorsque ces matières ont déjà subi un affinage suffisant; soit en les traitant seules. Les premiers moyens peuvent convenir lorsqu'on ne dispose que d'une faible quantité de ferrailles; mais lorsqu'on peut opérer sur des masses, il est préférable de les élaborer seules, parce que le fer obtenu est beaucoup meilleur et a une plus grande valeur. Il est propre surtout pour la fabrication des essieux et de toutes les pièces exposées à de grands efforts ou à des chocs.

La fabrication du fer par le seul soudage des ferrailles est avantageux dans le voisinage des grandes villes, si toutefois on peut s'y procurer le combustible à un prix modéré, parce que ces villes peuvent fournir abondamment les matières premières, et offrent en même temps de vastes débouchés aux produits fabriqués. Aussi plusieurs établissemens existent-ils aux environs de Paris et de Londres.

On suit deux procédés différens pour affiner la ferraille avec la fonte dans des feux d'affinerie au charbon de bois.

Dans l'un, on opère dans des feux d'affinerie ordinaires, et l'on y jette la ferraille en petite quantité lorsque la loupe est déjà formée. Elle s'y soude, et l'on traite alors la loupe à la manière ordinaire. Dans ce mode d'opérer,

la ferraille ne subit qu'un très faible déchet, parce qu'elle est promptement abritée de l'action du vent, et la consommation de charbon est loin d'augmenter dans le rapport de la plus grande quantité de fer qu'on obtient. Il n'en est plus de même si l'on ajoute trop de ferraille : non seulement les déchets et la consommation de charbon augmentent, mais une partie de ce fer, qui est déjà dans un état parfait d'affinage, absorbant du carbone, devient dure, aciéreuse, et nuit à la qualité des produits de la loupe.

Le second procédé, qui a pour but principal le traitement de la ferraille, avec une faible addition de fonte, exige un foyer de plus grandes dimensions. On lui donne 0^m78 de longueur, 0^m63 de largeur et de 0^m37 à 0^m39 de profondeur au-dessous de la tuyère. Cette dernière est presque horizontale, de manière à donner un vent rasant. Après avoir garni le pourtour du creuset avec du fraisil, on le remplit de charbon jusqu'à hauteur de la tuyère ou un peu plus, puis on charge de la sorne provenant d'opérations précédentes et cassée en petits morceaux; on y ajoute une quantité de fonte à peu près égale à un douzième du poids de la ferraille, et on recouvre le tout de charbon. La fusion de ce mélange s'opère entre les deux couches de charbon, et l'on modifie la force du vent selon qu'il faut accélérer ou retarder l'affinage. Si la matière est disposée à louper, on donne un vent fort, et l'on procède inversement si elle reste trop liquide, afin que le métal soit toujours affiné en tombant dans le creuset, et d'éviter autant que possible de le soulever. Si néanmoins la matière reste trop liquide, il faut y ajouter des battitures, et la soulever pour la refondre avec lenteur.

Quand la sorne et la fonte sont liquéfiées, on jette du charbon dans le creuset, et on recouvre ce combustible avec environ moitié de la charge de ferraille. Cette dernière parvenue au rouge, on la comprime à coups de marteau, et l'on y ajoute alors l'autre moitié. On accélère alors le ramollissement et la descente du métal en piquant le feu de temps à autre pour favoriser le passage du vent dans tous les sens au travers du charbon. Quand tout le fer est tombé dans le creuset, on brasse, et on forme la loupe. Il faut éviter que le métal ramolli ne s'attache aux plaques du foyer, parce qu'il descendrait alors plus lentement, ferait plus de déchet, et deviendrait dur en se combinant au carbone.

Dans une opération bien dirigée, et lorsque les ferrailles ne sont pas trop menues, le déchet peut se réduire à 10 pour 100, mais ordinairement il est de 12. Avec des débris très menus, tels que des buchilles de tour, il

y a une très forte oxidation, et le déchet s'élève souvent à 30 ou 40 pour 100.

La quantité de ferrailles que l'on traite à la fois pour former une loupe varie de 75 à 100 kil.

Quoique ce procédé donne de très bon fer, il est peu avantageux, parce que la consommation de charbon est très grande; on brûle de 9 à 12 mètres cubes de charbon, selon sa nature, soit moyennement, en poids, de 1,900 à 2,200 kil. de combustible par tonne de fer obtenu.

Dans plusieurs usines de France et d'Angleterre, on traite les riblons et la ferraille, avec le fin métal, dans des fours à puddler, en les ajoutant au moment où le fin métal commence à entrer en fusion. Après cette addition, on donne un fort coup de feu, puis on continue les opérations du puddlage à l'ordinaire. Le travail n'est pas plus long, souvent même il est un peu accéléré, et il présente l'avantage de produire plus de fer avec une moindre consommation relative de houille.

La quantité de ferraille ajoutée peut varier du cinquième au sixième de la charge totale du four, à moins que ces débris soient menus et fassent un trop gros volume, auquel cas il est convenable d'en réduire la proportion à un huitième ou à un neuvième.

Travail au réverbère. Le traitement de la ferraille seule se fait généralement dans des fours à réverbère, alimentés à la houille, soit en la nettoyant préalablement, soit en l'employant sans cette préparation, qui est aujourd'hui peu en usage, parce qu'on a reconnu que la rouille et la terre dont la ferraille peut être chargée ne sont pas un obstacle au soudage.

Pour nettoyer la ferraille, on se servait de tonneaux en fonte percés de trous et tournant sur un axe en fer. On y introduisait à la fois de 300 à 400 kil. de débris, et, après avoir fait tourner le tonneau pendant une heure, une heure et demie ou même deux heures, selon l'espèce et l'état de la ferraille, cette dernière en sortait parfaitement nettoyée et blanche comme du fer limé.

Que la ferraille soit nettoyée ou non, on en compose des *fagots* ou *paquets*, dont les dimensions varient dans presque toutes les usines, mais dont la forme est toujours celle d'un prisme à base carrée ou rectangulaire. L'équarrissage de ces fagots varie de 0^m11 à 0^m16, et leur longueur de 0^m40 à 0^m50. Le soudage se fait mieux et plus facilement dans les petits, mais le déchet est plus considérable et le travail marche avec moins de rapidité.

On prépare ces fagots sur un établi ou banc, entre des broches de fer convenablement placées, et on forme leur pourtour, soit de bouts de barres, soit de plaques de tôle. On place la menue ferraille dans l'intérieur, en la comprimant fortement; puis on lie ces fagots solidement, soit avec de petites bandes de fer, soit avec du gros fil d'archal, de manière qu'ils puissent être maniés sans se défaire. Les fagots de plus grandes dimensions doivent avoir au moins trois ligatures.

Lorsque les enveloppes en tôle ou en morceaux de fer sont difficiles à trouver, on peut remplacer les côtés des fagots par des lattes de bois blanc, mais les dessus et les dessous doivent toujours être en bandes de fer ou en tôle.

Les fours dont on fait usage sont des fours à réchauffer de grandes dimensions, semblables à ceux qu'on emploie pour le travail du fer dans les forges à l'anglaise. Il faut que ces fours aient un tirage très rapide, et que leur voûte soit assez surbaissée, afin qu'ils soient portés promptement à une très haute température et que le fer ne soit pas exposé trop long-temps à l'action de l'air. Pour rendre encore cette action moindre, le pont de chauffe doit être élevé d'au moins 16 centimètres au-dessus de la sole. Cette dernière doit être horizontale ou très légèrement inclinée vers la cheminée, afin de retenir les scories, qui protégent toujours un peu le bas des fagots contre l'oxidation.

Le cinglage et l'étirage des fagots se fait au moyen de marteaux, de cylindres dégrossisseurs et de cylindres finisseurs, comme dans les forges à l'anglaise.

Un four étant préalablement chauffé au blanc, on y charge le nombre de fagots qu'il peut contenir à nu sur la sole; on place ces fagots dans le sens de la longueur du four, en les espaçant assez pour qu'ils ne se soudent pas les uns aux autres. On ferme la porte du four et on la marge avec de l'argile; après quoi, on pousse le feu vivement, en entretenant toujours la grille bien couverte de combustible.

Lorsque les fagots les plus rapprochés du pont sont parvenus au blanc soudant dans toute leur masse, le chauffeur les retire, en suivant la même marche que pour les trousses (Section IV), et les porte sous le marteau; puis on les passe au laminoir dégrossisseur, où on les étire en barres de 24, 30, 36 ou 42 lignes de largeur, sur 9, 12 ou 14 lignes d'épaisseur. Ces dimensions peuvent, du reste, varier sans inconvénient pour le travail subséquent, et lorsqu'on ne veut former que de petites trousses, on ne donne quelquefois à ces barres que 6 à 7 lignes d'épaisseur.

Les fers étant dégrossis, on les recoupe à la cisaille pour en former des trousses ou de nouveaux fagots. Les trousses se composent, comme à l'ordinaire, de cinq ou six bouts de barres superposés; les fagots se composent de deux rangs de trousses placés l'un contre l'autre, et qu'on lie fortement avec de petites bandes ou de gros fil de fer : on leur donne les mêmes dimensions qu'aux fagots de ferraille.

Pour obtenir de plus beaux fers et diminuer l'oxidation des surfaces intérieures, on fait encore les seconds fagots de la manière suivante : Le dessous est formé d'une large bande à plat ; les côtés, chacun d'une bande posée de champ sur la barre de dessous ; le milieu se compose de quatre ou cinq bandes qui remplissent l'intervalle et la hauteur des côtés, et l'on recouvre le tout par une barre plate comme celle du dessous. Ces fagots sont ensuite fortement liés.

On porte les trousses ou les fagots de fer dégrossi aux fours à réchauffer, puis on lamine en barres finies.

Lorsqu'on veut obtenir des barres de plus belle apparence et sans défauts, on leur donne une troisième chaude. Dans ce cas, à la seconde chaude, on ne fait passer les paquets que dans deux ou trois cannelures pour bien opérer le soudage; on les remet au feu pendant cinq minutes environ, et on achève de les étirer à l'échantillon voulu.

Pour faire ce troisième réchauffage, il faut avoir des fours semblables aux fours de fenderie, représentés Pl. 30.

Déchets et consommations. En employant la ferraille brute, mais choisie de manière à ne pas être trop menue, le déchet à la première chaude varie de 12 à 15 pour 100; le déchet à la seconde chaude, de 6 à 8; et celui de la troisième, de 1 ½ à 3; en sorte que le déchet total est de 20 à 24 pour 100.

En employant de la ferraille très menue, le déchet total s'élève souvent jusqu'à 33 pour 100, et l'accroissement porte principalement sur les deux premières chaudes.

Lorsqu'on se sert de ferraille nettoyée, et dont le déchet dans le tonneau est très variable, on ne perd à la première chaude que 9 à 10 p. 100; à la deuxième, 6 à 7; et à la troisième, 1 à 1 ½.

Quand on se borne à donner deux chaudes, la consommation de houille dans les fours varie de 940 à 950 kil. par tonne de fer fini. Elle est de 1,100 à 1,110 kil. lorsqu'on donne une troisième chaude.

Pour la fabrication des petits fers, on procède absolument comme on

l'a indiqué dans la quatrième Section, en recoupant en bidons de 40 à 50 centim. de longueur les fers ébauchés de seconde chaude, et les réchauffant une troisième fois.

Le fer de ferraille est, en général, très bon, mais il est rarement susceptible de prendre un beau poli, surtout lorsque les premiers fagots n'ont pas été cinglés au marteau. Ce mode de cinglage devrait toujours être employé, parce que le fer est alors bien plus nerveux, et qu'il contient beaucoup moins de pailles ou de cendrures.

Produits mensuels des fours. Selon l'échantillon des fers, cinq fours, dont deux pour les premières chaudes, deux pour les secondes, et un pour le troisième réchauffage, peuvent produire de 120 à 150 tonnes de fer fini par mois.

Travail au coke. Les déchets de la méthode que l'on vient de décrire étant considérables, et la qualité du fer se trouvant altérée par l'emploi de la houille, lorsque cette dernière est par trop sulfureuse, on a abandonné cette méthode dans plusieurs usines d'Angleterre, et l'on y traite maintenant la ferraille dans des fours alimentés de coke et activés par une machine soufflante.

Ces fours sont les mêmes que ceux dont on fait usage pour l'affinage mixte par la méthode galloise, et leur construction est indiquée par les *fig.* 1, 2, 3 et 4, Pl. 32.

On forme les paquets ou fagots comme on l'a expliqué précédemment, mais on ne leur donne, au plus, que 30 centimètres de longueur, sur 15 de largeur et d'épaisseur.

Ces fagots, placés sur une barre plate, sont introduits dans les chauffes latérales, et y parviennent à la chaleur rouge. On les porte alors dans le foyer, où la ferraille se soude, puis on cingle sous le marteau, et l'on étire le fer en bandes plates. Ces bandes sont recoupées pour former des trousses, que l'on traite comme dans la méthode galloise.

Le déchet total pour les deux chaudes ne s'élève pas à plus de 16,5 pour 100, et la quantité de combustible brûlé varie de 880 à 910 kil. par tonne de fer fini.

SECTION VIII.

FABRICATION DE LA TOLE.

On désigne sous le nom de *tôle* le fer réduit en feuilles planes de diverses dimensions en surface, et dont l'épaisseur est plus ou moins petite. On divise les tôles en tôles *minces*, *moyennes* et *fortes*.

Les premières comprennent les feuilles de $\frac{1}{4}$ ligne à 1 $\frac{1}{2}$ ligne d'épaisseur; les secondes comprennent toutes les feuilles de plus de 1 $\frac{1}{2}$ ligne jusqu'à 3 lignes; et les dernières toutes les feuilles de plus de 3 lignes jusqu'à la plus grande épaisseur, qui n'excède pas ordinairement 6 lignes.

D'après les anciens procédés de fabriquer la tôle, encore en usage dans quelques pays, on réduisait le fer en feuilles au moyen de marteaux, dans des usines auxquelles on donnait le nom de *tôleries* ou de *batteries*. Mais, outre la lenteur de l'opération, qui exigeait de nombreuses chaudes, augmentait le déchet de fer et la consommation de combustible, on ne parvenait jamais à donner à la tôle une épaisseur uniforme, et une surface parfaitement unie.

L'imperfection de ce genre de travail l'a fait abandonner généralement, pour y substituer celui des laminoirs, beaucoup plus économique, et dont les produits sont aussi parfaits que possible. Par ces motifs, il ne sera pas question ici des procédés de fabrication par le battage.

Le fer dont on se sert pour travailler au laminoir étant préparé sous forme de *maquette*, *bidon*, *larget* ou *languette*, ainsi qu'on le verra plus loin, est d'abord chauffé au blanc, puis dégrossi; on lui fait subir ensuite un ou plusieurs réchauffages, après chacun desquels il est étiré entre des cylindres parfaitement unis. Le fer étant réduit à l'épaisseur voulue, on le recuit, et lorsqu'il est refroidi, on le rogne sur tout son pourtour pour former des feuilles rectangulaires et de dimensions déterminées.

DES FOURS.

Les fours dont on fait usage sont de deux espèces, les *fours à réverbère* et les *fours dormans* : les premiers peuvent être alimentés à la houille ou au bois, les seconds le sont toujours à la houille.

Les fours à réverbère se divisent en *fours à chauffer* et en *fours à ré-*

chauffer et recuire. Dans quelques usines, on ne fait usage que de cette dernière espèce de four pour commencer et achever le travail ; mais généralement, et surtout dans les usines où l'on fabrique des tôles d'une assez forte épaisseur, on se sert des fours à chauffer pour élever la température du fer avant le laminage, et des autres fours pendant l'opération du laminage et jusqu'à son achèvement.

Fours à chauffer. Ces fours ne sont pour la plupart que des fours à réchauffer, semblables à ceux dont on se sert pour le soudage des trousses dans les forges à l'anglaise; ils sont construits sur les mêmes principes, et, pour l'ordinaire, dans les mêmes dimensions. Il n'est pas nécessaire qu'ils soient plus grands, parce qu'on ne peut y placer beaucoup de maquettes à la fois, vu la marche du laminage.

Fours à réchauffer et recuire. Ces fours diffèrent des précédens, en ce que leur sole est rectangulaire, et que la porte de travail est placée à l'extrémité opposée de la grille. La Pl. 26 en présente deux différentes dispositions. La première, indiquée par les *fig.* 1 à 5, est applicable aux fours isolés, et dans le cas où l'on manque d'espace en superficie. La cheminée est alors placée sur le four même et supportée par des colonnes ou par de forts montants en fonte. La seconde, représentée par les *fig.* 6 à 10, convient pour les fours accolés deux à deux, et doit être préférée, même pour un seul four, toutes les fois qu'on n'est pas gêné pour l'espace, parce qu'elle est moins dispendieuse, plus commode, pour établir convenablement l'échappement des flammes et pour faire les réparations. La cheminée est alors placée latéralement ou entre les massifs de deux fours.

Ce que l'on se propose dans ces fours, c'est d'obtenir un chauffage suffisamment actif, aussi uniforme que possible, dans toute l'étendue de la sole, et d'éviter une trop forte oxidation du fer.

L'activité du chauffage s'obtient par le rapport entre la surface de la grille et la section de la cheminée. Ce rapport peut varier entre $\frac{1}{8}$ et $\frac{1}{12}$, selon l'effet que l'on veut produire.

L'uniformité et l'intensité de chaleur sur la sole dépendent de la disposition de la voûte, de l'étendue de la sole et du mode d'échappement des flammes.

Si les fours doivent servir à chauffer les maquettes, et que l'on ait besoin d'une très haute température, il faut surbaisser la voûte d'autant plus qu'on veut chauffer plus fort. Si, au contraire, les fours ne doivent servir qu'au réchauffage des feuilles, la voûte doit être plus relevée, afin

qu'on ne puisse pas atteindre la chaleur éclatante, qui aurait l'inconvénient de faire souder les feuilles entre elles.

La surface de la sole se proportionne à la grandeur des feuilles que l'on se propose de faire, et doit, par ce motif, être plus grande pour les tôles fortes que pour les tôles minces. La surface à donner à la grille se détermine d'après celle de la sole, en supposant toujours l'emploi d'une houille assez grasse, parce que c'est celle qui convient le mieux pour diminuer l'oxidation. On adopte, entre la surface de la sole et celle de la grille, le rapport de 3 à 1 au *maximum*, celui de 2 à 1 au *minimum*, et le rapport ordinaire est celui de 2,5 à 1.

La largeur de la sole est uniforme, et presque toujours égale à la dimension de la grille dans le même sens. Cependant elle peut outre-passer cette dimension de 20 à 30 centimètres sans inconvénient, en répartissant cet excédant également des deux côtés de l'axe ou milieu du four. Si la largeur de la sole excède trop la grille, le chauffage est moins fort sur les côtés que vers le milieu ; il n'y a aucun inconvénient à ce que la grille excède la largeur de la sole, mais il vaut mieux éviter cette disposition, parce qu'elle complique la construction.

On ne donne pas habituellement à la sole une longueur moindre que 1^m60, ni plus grande que 3^m30 ; sa largeur varie de 1^m à 1^m30. Ces dimensions dépendent surtout de celles des feuilles à fabriquer.

Les soles sont faites en briques réfractaires posées de champ ; elles portent 2 ou 3 lignes de chenets parallèles à l'axe. Ces chenets sont des barres de fer de 7 à 8 centimètres d'équarrissage, ou des saumons de fonte de 8 à 11 centimètres de hauteur ; ils ont pour but de laisser circuler la flamme librement en tous sens, afin que les feuilles ou les plaques soient également chauffées.

On oblige la flamme à s'étendre sur toute la longueur de la sole, en plaçant les échappemens au niveau de la sole, à droite et à gauche, comme l'indiquent les lettres *a* et *a'*, *fig*. 6 à 8, Pl. 26 ; ou si l'échappement est placé au sommet de la voûte, on construit en arrière de la porte un diaphragme I, *fig*. 1 à 3, presque aussi surbaissé que la porte, et qui force la flamme à se rabattre sur l'extrémité de la sole. La première disposition est préférable, parce que l'extrémité des feuilles est mieux chauffée, et mieux abritée de l'air qui rentre par la porte lorsqu'on la soulève.

On peut aussi adopter le mode de double échappement du four de fenderie représenté par la Pl. 30, et qui consiste à évacuer la flamme par un

passage *a*, *fig.* 3, situé à la partie antérieure de la sole, tant que le four est fermé; et à la diriger dans la cheminée par un passage *b* pratiqué dans la voûte, lorsqu'on ouvre la porte de travail. Cette disposition a le double avantage de chauffer parfaitement, et de préserver les ouvriers des jets de flamme lorsque la porte est levée. (Voyez la Description.)

Il est important, pour diminuer l'oxidation, de ne pas exposer le fer au contact immédiat de la flamme; on donne à cet effet au pont de chauffe A une hauteur qui ne doit pas être moindre que 20 à 22 centimètres au-dessus de la sole, et qui s'élève quelquefois jusqu'à 45 centimètres.

Si l'on brûle de la houille grasse, que le tirage soit un peu lent, et que la voûte du four soit élevée, le pont de chauffe peut être plus bas que si l'on se sert de houille moyenne et d'un tirage vif avec une moindre hauteur de voûte, parce que, dans le premier cas, il échappe moins d'air à la combustion, soit en traversant le foyer, soit en circulant dans le four. On chauffe d'ailleurs plus par réverbération de la voûte que par le contact de la flamme.

Lorsqu'on chauffe à la houille, on place ordinairement la grille à 50 ou 60 centimètres au-dessous de la crête du pont de chauffe, en suivant à cet égard les règles indiquées, Section III, p. 69. Si l'on veut chauffer au bois, il faut modifier les fours dans le sens indiqué, p. 72.

Il suffit de donner aux cheminées des fours de tôlerie une hauteur de 9 à 10 mètres; comme celles des fours à puddler et à réchauffer, elles sont munies d'un registre pour régler le tirage pendant le travail.

Il est nécessaire d'avoir deux fours à réchauffer par laminoir, afin de diminuer les intermittences du travail, de ne pas être obligé de charger une trop grande quantité de fer à la fois, et d'entretenir plus facilement les feuilles à la température voulue sans renouveler trop fréquemment le combustible.

Pour les détails de construction, d'ailleurs analogues à ceux des autres fours à réverbère, nous renvoyons aux descriptions de planches et aux figures.

Fours dormans. Dans quelques contrées, et particulièrement en Belgique, on se sert encore de fours dormans pour chauffer le fer. Ces fours représentés par les *fig.* 5 à 8, Pl. 32, se composent d'une grille spacieuse recouverte par une voûte, et d'une cheminée placée en dehors et au-dessus de la porte de travail, en sorte qu'elle ne sert qu'à évacuer la flamme et la fumée, sans produire de tirage. Ces fours n'ont pas de sole, et

le fer que l'on veut chauffer se place sur la houille dont la grille est chargée.

Par cette disposition, on économise le combustible; mais il faut beaucoup de soin pour préparer le lit de houille, et, malgré toutes les précautions, on ne peut éviter que l'air non décomposé traverse la grille sur quelques points. Il se forme alors de petits jets qui oxident le fer, et percent souvent la première feuille lorsqu'on fait de la tôle mince.

Cet inconvénient grave n'a pas lieu pour les fours à réverbère, et, par ce motif, ces derniers méritent la préférence, quoiqu'ils occasionnent une consommation un peu plus forte de combustible. Ils se prêtent d'ailleurs parfaitement à la conduite du feu, tandis que, dans les autres, on ne peut renouveler le lit de houille que lorsque toutes les feuilles sont étirées, d'où résulte souvent un refroidissement dans le four, et, par suite, un ralentissement dans le travail.

DES LAMINOIRS.

Les laminoirs employés pour fabriquer la tôle se composent de deux cylindres unis, montés dans des cages semblables à celles des laminoirs dont on se sert pour le fer en barres, ou entre des colonnes en fer.

Laminoirs à cages. Dans beaucoup d'usines, on se sert de cages à vis de pression, seulement on les fait plus fortes que pour le fer en barres, on donne un plus grand diamètre aux vis, qui doivent toujours être en bon fer forgé, et l'on fait les filets de ces vis plus forts, à cause des chocs qu'ils ont à supporter. Les vis de pression doivent avoir, au moins, 0^m12 à 0^m13 de diamètre extérieur, et les filets de 12 à 13 millimètres d'épaisseur, avec une profondeur de 10 à 11. Les écrous doivent être en bronze de bonne qualité, afin de ne pas se refouler.

Les montans de cages ne doivent pas avoir des dimensions moindres que celles indiquées par la Pl. 27; et même avec ces dimensions, il arrive encore assez fréquemment que des cages bien saines soient brisées.

Laminoirs à coins. Afin d'obvier aux inconvéniens qu'offrent souvent les vis et les écrous de se refouler et d'arrêter ainsi la manœuvre d'un laminoir, on a imaginé de substituer aux vis des coins de pression. Cette disposition, indiquée par la Pl. 27, est facile à comprendre, et l'on peut voir, au surplus, l'explication de ses divers détails dans les descriptions. Elle exige un ajustage assez exact de toutes les parties qui concourent à la pression, sans quoi elle est sujette à autant d'inconvéniens que le système

à vis, qui est plus simple. Si, par exemple, il arrive que le fer engagé ne puisse passer et arrête le mouvement des cylindres, les coins sont tellement serrés qu'on ne peut les faire rétrograder qu'avec la plus grande difficulté, et rarement sans endommager le mécanisme. Les manivelles des vis de serrage sont, de plus, incommodes dans certaines positions, et gênent le passage des feuilles par-dessus le cylindre supérieur, lorsqu'on fabrique de larges tôles. Cet inconvénient est d'ailleurs très faible, parce qu'on peut employer des manivelles assez courtes dans le travail ordinaire, et avoir de longues manivelles dont on ne ferait usage qu'accidentellement.

Laminoirs à colonnes. Dans ce système de disposition, représenté par la Pl. 28, chaque cage est remplacée par deux fortes colonnes en fer, fixées à la partie inférieure dans une même embase A A, et reliées à la partie supérieure par un chapeau mobile B B. Ce chapeau porte sur les tourillons du cylindre supérieur. Chaque colonne est filetée en vis, et reçoit un écrou en bronze E, au moyen duquel et d'une manivelle ou clé à plusieurs branches on opère la pression sur le chapeau.

Dans ce système, la pression se répartissant sur quatre écrous dont les filets sont très forts, l'inconvénient du refoulement dont on a précédemment parlé est extrêmement rare, si les écrous sont faits en bronze de bonne qualité, et qu'ainsi que les colonnes, ils soient filetés avec précision. Les colonnes en fer résistent mieux que les cages en fonte, et ne se brisent que par des défauts de soudure.

Les inconvéniens de l'emploi des colonnes sont que les bâtis ont moins de stabilité; qu'on ne peut les relier invariablement dans aucun sens par leurs parties supérieures; qu'il faut manœuvrer quatre écrous dont le serrage ne peut être et n'est jamais absolument le même; que les chapeaux qui doivent être évidés, comme l'indique la *fig*. 7, pour le logement des bouts de cylindres et des manchons, cassent assez souvent, parce qu'ils sont trop faibles au milieu, et qu'on ne peut accroître leur force qu'en allongeant les colonnes, ce qui augmente encore l'instabilité du système.

En présence de ces inconvéniens, il y a l'avantage, assez important, de diviser les chances de rupture, et de les porter principalement sur les chapeaux, qui peuvent être remplacés facilement et à peu de frais.

Ce système, monté avec soin, fonctionne bien, et n'exige pas de fréquentes réparations; mais, en général, on ne peut l'appliquer avec succès qu'à des laminoirs de petite et moyenne force.

Nombre de laminoirs. Quel que soit le système de laminoirs employé, il est convenable d'avoir deux équipages, dont l'un sert à dégrossir les fers, et l'autre à finir les feuilles. Ces équipages peuvent être montés bout à bout; mais il est préférable de les placer sur deux lignes parallèles, afin de rendre leurs mouvemens indépendans. De cette manière, le travail ne peut jamais être complétement arrêté que par les accidens qui peuvent survenir au moteur, s'il est le même pour les deux équipages.

Bascules. Afin d'empêcher que le cylindre supérieur retombe de tout son poids sur le cylindre inférieur, après le passage du fer, et endommage ainsi ces deux pièces, on se sert de bascules qui font à peu près équilibre au poids du cylindre supérieur et des pièces qui se meuvent avec lui. Ces bascules peuvent s'adapter aux cages mêmes des laminoirs, comme l'indique la Pl. 27, et sont alors logées dans la fosse inférieure, ou bien être portées par les fermes de la toiture de l'usine.

Dans le premier cas, elles sont suspendues à des chapes en fer H, H, *fig.* 1 et 2, Pl. 27; des leviers K, K portent à l'une de leurs extrémités des contre-poids P P, et à l'autre extrémité des tiges N, N, qui, traversant verticalement les cages, vont supporter l'empoise inférieure du cylindre de dessus. Dans le second cas, les tourillons de ce cylindre sont embrassés par un étrier en fer *l l*, *fig.* 2, Pl. 28, et cet étrier est relié solidement, soit au moyen d'une articulation, soit au moyen d'une clame S, à une tige verticale R, qui est attachée au levier de la bascule.

Pour les laminoirs à colonnes, on ne peut employer que les bascules en dessus; alors les étriers qui embrassent les tourillons sont boulonnés avec les chapeaux, et ceux-ci sont reliés avec les tiges de bascule, comme l'indique la *fig.* 2.

Si les bascules ont l'avantage de conserver les cylindres, elles ont l'inconvénient d'accroître l'intensité du choc contre les vis ou les écrous de pression et contre le dessus des cages, en annulant le poids du cylindre supérieur et des parties qu'il entraîne, et il en résulte des ruptures plus fréquentes de tourillons et de cages, à moins qu'on n'augmente les dimensions de ces parties. Il n'y a aucun inconvénient à rendre les cages plus fortes; mais il résulte de l'augmentation de diamètre des tourillons une plus grande consommation de force motrice. Aussi voit-on des usines dans lesquelles les bascules sont absolument rejetées, soit par l'une, soit par l'autre des raisons précédentes.

Chevalets, gardes. Pour soutenir les feuilles ou les paquets de tôle à l'entrée des cylindres, et pour les recevoir à la sortie, on adapte aux embrasses D, D des colonnes, *fig.* 3, Pl. 28, ou aux traverses analogues des cages deux longues barres de fer H H, dont les extrémités recourbées sont fixées dans le sol. Ces barres sont nommées *chevalets* ou *chevaux*. Sur celles qui sont du côté de l'entrée, on place une plaque de fonte ou tablier T pour recevoir le fer à laminer.

Du côté de la sortie, et sur la traverse D, sont fixées deux ou trois pièces en fer G, dont l'extrémité, coupée en biseau, vient s'appuyer sur le cylindre inférieur. Ces pièces se nomment *gardes* ou *chiens*, et servent à empêcher les feuilles de s'enrouler autour du cylindre.

La *fig.* 1 fait voir la disposition des gardes et chevalets dans le sens parallèle aux cylindres.

Qualités des cylindres. Il ne suffit pas que les cylindres à tôle soient bien unis sur toute leur surface, il faut encore que cette surface soit dure pour ne pas s'égrener et pour produire des feuilles lisses. On obtient ce résultat en coulant la table des cylindres dans une *coquille* ou moule en fonte d'une épaisseur de 22 à 27 centimètres. Le contact de cette coquille produit à la surface un refroidissement prompt qui blanchit et durcit la fonte à une épaisseur de 10 à 15 millimètres. Les parties de moules qui forment les tourillons et les trèfles sont en sable, pour conserver à la fonte sa douceur et sa ténacité. On ne doit se servir que de fontes de première qualité, soit grises, soit truitées grises. Les cylindres ébaucheurs, n'ayant pas besoin de surface aussi dures et aussi unies, peuvent être coulés simplement en sable, et alors il faut y employer de préférence une bonne fonte truitée, parce qu'elle est un peu plus dure que la fonte grise.

Dimensions des cylindres. La longueur des cylindres est proportionnée à la largeur de la tôle que l'on veut fabriquer habituellement; elle doit excéder cette largeur de 11 à 16 centimètres au plus. Le plus fort excédant est souvent nécessaire pour les laminoirs à colonnes, parce que les chapeaux couvrent une partie du cylindre supérieur, et diminuent ainsi la largeur du passage des feuilles au-dessus de ce cylindre.

On ne donne pas aux cylindres un diamètre de moins de 40 centimètres, ni de plus de 50. La première dimension ne convient guère que pour les longueurs de table de 1 mètre et au-dessous; la seconde s'applique aux tables de $1^{m}40$ à $1^{m}60$ de longueur. Entre 1^{m} et $1^{m}40$, on se sert de diamètres

intermédiaires croissant avec la longueur de la table. En général, il faut donner aux cylindres un diamètre plutôt fort que faible, parce qu'il faut les mettre assez fréquemment sur le tour pour les replaner.

On donne aux tourillons des plus petits cylindres 22 centimètres de diamètre; à ceux des plus forts cylindres, 27 centimètres, et à ceux des cylindres intermédiaires, 24 à 25 centimètres. Malgré ces fortes dimensions, il arrive encore assez fréquemment que les tourillons se rompent, surtout si l'on n'a pas la précaution de les rafraîchir par un filet d'eau.

Vitesse des cylindres. On doit donner aux cylindres d'autant plus de vitesse que la tôle doit être plus mince, parce que le fer se refroidit plus promptement, et qu'il faut alors le réchauffer plus souvent, ce qui ralentit le travail et augmente les déchets par oxidation.

Pour les tôles minces, on leur fait faire jusqu'à quarante tours par minute; pour les tôles moyennes, vingt-cinq à trente tours, et pour les tôles fortes, vingt à vingt-deux tours. Ces nombres peuvent varier en plus ou en moins, selon le diamètre des cylindres, et en raison inverse de ce diamètre ou du développement de la circonférence.

Force motrice nécessaire. Les laminoirs destinés à la fabrication des tôles minces exigent une force de quinze à vingt chevaux; pour les tôles moyennes, il faut une force de vingt-cinq à trente chevaux, et pour les tôles fortes et larges, il faut souvent une force de quarante à quarante-cinq chevaux. Dans tous les cas, il faut appliquer aux machines un volant puissant; sans cela leur mouvement se ralentit très sensiblement pendant le passage des feuilles, et quelquefois elles sont arrêtées.

Communication du mouvement. Le mouvement du moteur est communiqué par divers engrenages, au besoin, à un pignon qui le transmet au cylindre inférieur, au moyen d'une alonge et de manchons. Sur ce pignon, Pl. 28, *fig.* 1, est placé un second pignon qui reçoit le mouvement du premier, et le transmet, par les mêmes moyens, au cylindre supérieur. Ce dernier étant mobile dans le sens vertical, il faut employer de grandes alonges, si le pignon supérieur est fixe, afin d'éviter les ruptures. Dans quelques usines, on élève le pignon supérieur en même temps que le cylindre correspondant, au moyen de la même bascule; mais il faut alors que les dents des pignons soient très longues, d'où résulte qu'elles sont plus sujettes à se briser, et que l'engrènement des dents ne se fait pas aussi régulièrement.

DES OUTILS.

On se sert pour le travail du laminage de pinces ou tenailles de diverses dimensions. Toutes sont à mors plats, de 15 à 16 centimètres de longueur, dont les bouts sont forgés en biseaux pour pouvoir les introduire entre les feuilles.

Les tenailles des chauffeurs ont des branches de 1^m20 à 1^m30, afin qu'ils puissent travailler dans les fours sans trop souffrir de la chaleur. Celles des lamineurs et aide-lamineurs ont des branches de 0^m80 à 1^m; et celles des manœuvres ou releveurs n'ont pas ordinairement plus de 60 centimètres de branches, pour qu'ils puissent s'en servir avec plus de facilité.

Pour rogner les tôles, on se sert de cisailles plus ou moins fortes, selon l'épaisseur des feuilles. Ces cisailles sont en tout semblables à celles dont on a parlé Sect. III, p. 75, et sont mises en mouvement par la machine motrice. Quelquefois on emploie des cisailles à main, à longue lame, pour couper les feuilles très minces; le rognage marche alors plus rapidement, et se fait mieux.

CONDUITE DU TRAVAIL.

Choix du fer. La qualité de la tôle dépend de celle du fer employé à sa fabrication. On doit se servir de préférence des fers à la fois mous et très malléables à chaud comme à froid. Les fers rouverins et cassans doivent être exclus : les premiers, parce qu'ils se criquent au laminage; les seconds, parce qu'ils ne donnent qu'une tôle de très mauvaise qualité, quoiqu'ils s'étirent assez bien à chaud. Le fer fort et dur donne une tôle de très bonne qualité, et très recherchée pour les objets qui doivent éprouver de grands efforts; mais il est plus difficile et plus long à laminer que les fers mous, exige de fréquens réchauffages, d'où résultent plus de déchets et une plus grande consommation de combustible.

Préparation du fer. La préparation du fer varie selon l'espèce de tôle que l'on veut obtenir. Pour les tôles minces, on se sert de fer plat, préparé soit au laminoir, soit au marteau, soit par les deux moyens réunis. Sa largeur doit être la plus grande possible, parce que c'est dans le sens de cette dimension que se fait l'étirage, et que ce travail est d'autant plus abrégé que le fer est plus large.

On ne peut établir de règle à l'égard de cette largeur, parce qu'elle varie d'une usine à l'autre, et souvent dans la même usine, pour des tôles de

mêmes dimensions; elle change, du reste, pour chaque espèce de tôle. Quant à l'épaisseur, elle doit avoir avec la largeur du fer une relation telle que l'on puisse obtenir, outre la longueur de la feuille, l'excédant nécessaire au rognage. Si, par exemple, on veut faire de la tôle de 1 ligne d'épaisseur sur 6 pieds de longueur net, ou de 6 pieds 6 pouces avant le rognage, avec du fer de 8 pouces de largeur; comme cette dernière dimension est contenue neuf fois trois quarts dans la longueur de la tôle, l'épaisseur du fer doit être aussi de neuf fois trois quarts celle de la feuille ou de 9 lignes $\frac{3}{4}$. Il importe, sous le rapport de l'économie, de ne pas excéder beaucoup les épaisseurs nécessaires, parce qu'alors les déchets de cisaille deviennent trop forts, et qu'en outre la durée du laminage est prolongée.

Les fers, pour tôles fortes, se préparent le plus ordinairement au marteau, à cause des dimensions qu'il faut leur donner, et pour leur faire acquérir plus de nerf.

Quel que soit le mode de préparation, les fers sont coupés à la cisaille, à chaud ou à froid, selon leurs dimensions, et à une longueur précisément égale à la largeur de la tôle qu'on veut obtenir. Les morceaux, ainsi formés, reçoivent le nom de *maquette, bidon, larget* ou *languette*.

Ouvriers nécessaires. Il faut, pour chaque four, un chauffeur et un aide. Il y a ordinairement pour le service de chaque laminoir quatre ouvriers, qui sont le *lamineur*, l'*aide-lamineur*, et deux *releveurs*. Le lamineur est l'ouvrier qui engage le fer et dirige le travail; l'aide-lamineur reçoit le fer et le repasse au lamineur, par-dessus le cylindre supérieur, avec le secours des releveurs placés des deux côtés des chevalets. Un releveur peut suffire pour les tôles de petit échantillon, et quelquefois on augmente le nombre de ces ouvriers dans la fabrication des très fortes tôles.

A la cisaille, il faut un *cisailleur* et un nombre d'aides suffisans pour présenter les tôles, et pour les mettre en tas après qu'elles sont finies. Ce nombre varie selon les dimensions des feuilles.

Enfin, outre ces ouvriers, il faut des manœuvres pour approvisionner les fours en fer et combustible.

Tous ces ouvriers sont relevés par tournées de huit ou de douze heures.

Chargement et chauffage des fours. La quantité de fer qu'on place dans les fours à chauffer dépend de la force de la machine comprimante, et on

peut en charger d'autant plus à la fois que cette machine est plus puissante et fonctionne plus vite. On doit rassembler le fer le plus près possible du pont de chauffe, afin qu'il soit moins exposé à l'action du courant d'air.

Avant de charger, le four doit être au rouge blanc et la grille doit être bien couverte de houille, de manière qu'il échappe le moins d'air possible à la combustion. On chauffe avec rapidité pour moins oxider le fer; l'on rajoute du combustible sur la grille, s'il est nécessaire, puis, dès que le laminage commence, on abaisse le registre de la cheminée, et quelquefois on ferme le cendrier, afin de maintenir la température au degré convenable sans l'outre-passer. On doit éviter de faire une nouvelle charge de combustible, parce que l'air qui se précipite par le tisard forme sur le fer une couche d'oxide très nuisible au travail et à la beauté des produits.

C'est surtout dans les fours à réchauffer que ces précautions doivent être prises, et elles sont d'autant plus nécessaires que le fer est plus mince et offre plus de surface. C'est aussi dans ces fours que le chauffage doit se faire avec le plus de rapidité pour diminuer l'oxidation.

Le fer doit toujours être porté à la chaleur blanche ou presque blanche, afin qu'il puisse passer un plus grand nombre de fois entre les cylindres sans être réchauffé, et qu'on ne soit pas obligé de trop multiplier les chaudes. Celles que l'on ne porte qu'au rouge-brun sont les plus mauvaises, parce qu'elles produisent une couche d'oxide très dure et très difficile à enlever.

Laminage. Les languettes étant chauffées à blanc, le chauffeur en saisit une, et la porte au maître lamineur. Celui-ci la présente en travers entre les cylindres, de manière que la longueur du fer forme la largeur des feuilles; l'aide-lamineur la reçoit et la repasse au maître par-dessus les cylindres. On continue cette manœuvre aussi long-temps qu'elle peut se répéter sans réchauffer; et à chaque passage on serre les vis de pression, de manière à étirer le plus possible pendant cette première chaude, mais en s'arrêtant toujours avant le point de chaleur où le fer pourrait se gercer.

Ce travail se fait au laminoir préparateur, et se termine diversement selon l'espèce de tôle à produire et le mode de travail adopté.

Pour la fabrication de la tôle mince, on a adopté, dans beaucoup d'usines, l'usage de plier les feuilles en deux dans le sens de leur largeur, après le premier étirage. Cette opération est faite par deux aides-lamineurs

qui reçoivent et plient les feuilles alternativement, et les repassent au maître-ouvrier, qui les met de côté.

Les feuilles ainsi pliées prennent le nom de *doublons*. Avant de les porter au four, on les trempe dans l'eau *d'arbue* que l'on fait en délayant, dans de l'eau, un mélange d'argile, de craie et de poussier de charbon. Cette opération a pour but de préserver les feuilles de l'oxidation, et d'empêcher qu'elles se soudent entre elles.

On ne doit charger à la fois, dans un four, que le nombre de doublons qui peuvent être étirés sans rajouter de combustible, et c'est là surtout ce qui nécessite l'emploi de deux fours par laminoir. On chauffe vivement, presque jusqu'au blanc, puis on porte successivement les doublons au laminoir finisseur. Là, ils sont passés et repassés plusieurs fois en engageant toujours le pli le premier, et lorsqu'ils sont étirés autant que le comporte la chaude, ils prennent le nom de *semelle*.

Les semelles sont reportées au four; mais, à partir de cet instant, on ne chauffe plus qu'au rouge-cerise clair, ou tout au plus au blanc naissant, afin d'éviter de souder les feuilles. On les reporte ensuite au laminoir, soit seules, soit réunies en *trousses* de deux ou trois semelles, selon la nature du fer et les dimensions des feuilles que l'on veut fabriquer. Plus le fer est mou et déjà aminci, plus on peut réunir de semelles en une même trousse.

Avant d'engager les trousses entre les cylindres, il faut les frapper avec force contre une plaque, afin d'en détacher la couche d'oxide, ce à quoi on ne réussit jamais complétement, parce qu'elle adhère très fortement dans certaines parties.

Avant de donner une nouvelle chaude, on change l'ordre des feuilles, en mettant en dehors celles qui occupaient le milieu des trousses, pour rendre le laminage plus égal et empêcher l'adhérence des feuilles

Pour terminer les tôles minces, on les réunit en une seule trousse de dix à vingt feuilles, selon l'épaisseur, et selon la force de la machine comprimante.

Ordinairement les tôles les plus minces se terminent en cinq ou six chaudes; on doit éviter d'excéder ce nombre, parce qu'il en résulterait des déchets trop considérables.

Cette méthode de travail suppose que chaque languette a les dimensions nécessaires en largeur et épaisseur, pour donner deux feuilles, ce que l'on regarde, dans un grand nombre d'usines, comme moins avantageux que

d'employer des languettes *simples*, c'est-à-dire ne contenant que la matière d'une seule feuille.

Dans ce dernier cas, on ne fait pas de doublons, et le premier laminage donne immédiatement des *feuilles dégrossies*. Celles-ci, après avoir été trempées dans l'eau d'arbue, sont chauffées au blanc naissant, et passées soit seules, soit en trousses entre les cylindres finisseurs, en suivant d'ailleurs la même marche que précédemment.

Pour les tôles fortes, on ne fait jamais de doublons, et soit dans le laminage préparatoire, soit dans le finissage, les feuilles sont passées une à une, ou tout au plus deux à deux, lorsqu'elles ne sont pas trop épaisses.

Il est avantageux de projeter du poussier de charbon ou de coke sur la sole des fours et sur les feuilles mêmes, pour empêcher l'oxidation. Cette précaution devient indispensable, lorsqu'on est obligé d'alimenter le feu pendant l'étirage.

Le maître lamineur doit s'étudier à régler la pression successive du cylindre supérieur, d'après la nature du fer qu'il travaille. Une trop faible pression augmente la durée de l'opération, le nombre de chaudes et les déchets, mais donne généralement de plus belles tôles; une pression trop forte rend le travail plus rapide, mais il arrive fréquemment que le fer se crique ou se déchire sur les bords, d'où résulte une plus grande quantité de rebuts. Il faut donc pour chaque fer saisir la pression moyenne la plus convenable, ce que l'expérience peut seule apprendre et a bientôt appris à un ouvrier intelligent.

Cisaillage de la tôle. Dès que les feuilles sont refroidies, on les porte à la cisaille pour leur donner les dimensions voulues. Avant de les rogner, on les trace à ces dimensions, au moyen de cadres rectangulaires en bois que l'on applique sur chaque feuille.

Lorsqu'on fabrique des tôles assez minces pour qu'elles puissent être coupées avec une cisaille à longue lame, on peut se dispenser de tracer les feuilles, en adaptant à la cisaille une table à liteaux ou tasseaux mobiles. Ces pièces, que l'on fixe à volonté dans deux sens perpendiculaires entre eux, sont placées selon les dimensions de feuilles que l'on veut obtenir, et en y appuyant les côtés déjà rognés, on est certain que les feuilles sont bien rectangulaires et coupées bien droites, ce dont on n'est pas toujours sûr par l'autre méthode.

Recuit de la tôle. Dans le laminage, le fer *s'écrouit,* c'est-à-dire qu'il prend une certaine dureté et perd de sa malléabilité. L'*écrouissage* est

d'autant plus fort que les feuilles se sont plus refroidies sous les cylindres, et si la tôle était employée à cet état, on ne pourrait souvent la ployer à angle vif sans qu'elle se cassât. Pour obvier à cet inconvénient et rendre au fer sa douceur, on place les feuilles par paquets dans un four particulier, mais semblable aux fours à réchauffer, et on les y fait rougir. C'est cette opération que l'on nomme *recuit*. On laisse ensuite les feuilles se refroidir lentement, et lorsqu'elles ne sont pas bien planes, on profite du moment où elles sont encore rouges pour les dresser avec un maillet de bois, en les plaçant sur une plaque de fonte.

La tôle forte s'écrouit beaucoup moins que la tôle mince, et se recuit ordinairement d'elle-même par la seule chaleur qu'elle conserve après le laminage.

Consommations, déchets et rebuts. Selon l'espèce de tôle que l'on fabrique, on consomme de 1,400 à 1,450 kil. de fer pour produire 1,000 kil. de bonnes feuilles.

La consommation en houille de bonne qualité varie de 1,800 à 2,500 kil., et s'élève quelquefois au-delà. Elle dépend beaucoup de la hauteur du pont de chauffe et de celle de la voûte du four, et croît, en général, à mesure que ces dimensions sont plus grandes. Dans ce cas, les déchets par oxidation sont un peu moindres; mais cette faible économie ne compense pas l'augmentation de dépense en combustible.

Selon la manière dont le travail est dirigé, les déchets par oxidation peuvent varier de 6 à 15 pour cent. Ils sont très souvent plus considérables pour les tôles fortes que pour les tôles minces, parce que les premières se laminent isolément, tandis que les autres se chauffent et se passent en trousses.

En fabriquant diverses espèces de tôle, on peut compter sur un déchet moyen de 10 pour cent, si le travail est bien conduit.

Les rognures ou déchets de cisaille s'élèvent jusqu'à 45 pour cent sur les tôles minces, et ne sont ordinairement que de 22 à 25 pour cent sur les tôles fortes. En fabrication moyenne de tôles fortes et minces mélangées, on compte sur 30 pour cent de rognures.

Les rebuts ou feuilles défectueuses ne s'élèvent guère au-delà de 5 à 6 pour cent dans une fabrication bien dirigée.

D'après ces données, on peut donc obtenir pour 100 kil. de fer employé, 65 à 70 kil. de tôle forte bonne à livrer au commerce, ou 50 à 55 kil. de tôle mince.

Produit mensuel des laminoirs. En employant deux laminoirs, l'un à dégrossir les feuilles, l'autre à les finir, on peut produire par mois et en travail continu, 55 à 60 tonnes de petites tôles; le même système de travail appliqué aux tôles fortes peut donner jusqu'à 120 tonnes par mois, si les machines sont assez puissantes.

Qualités et défauts des tôles. La tôle doit avoir une épaisseur uniforme et une surface parfaitement unie. Pour qu'elle soit bonne, il faut qu'on puisse la plier un grand nombre de fois en sens opposés avant qu'elle ne casse. Toutefois, on n'obtient ce résultat, même avec le meilleur fer, qu'autant que les feuilles ont subi le recuit.

Les défauts des tôles sont les bosses, les cavités, les rides ou espèce de plissage à la surface, les gravelures ou aspérités, les pailles ou filamens de fer non soudés à la surface, les gerçures ou fentes, et enfin les doublures qui proviennent du défaut de soudage dans quelques parties de l'épaisseur.

Les feuilles qui ont un ou plusieurs de ces défauts sont vendues comme rebuts, ou sont jetées aux rognures, s'il n'est pas possible d'en faire un échantillon marchand de moindres dimensions.

Dimensions des tôles. Les dimensions des tôles en longueur et largeur sont extrêmement variables, et si nombreuses qu'elles échappent, en quelque sorte, à toute espèce de classement. A cet égard, chaque usine adopte les dimensions usitées dans les diverses fabrications qu'elle alimente.

Les tôles minces sont livrées au commerce en paquets de 25 à 50 kil.

Emploi des rognures. Les rognures rentrent en fabrication, soit pour en faire des barres, soit pour être de nouveau converties en tôle. On les traite par l'un des moyens indiqués précédemment. (Voy. Section VII, *Affinage de la ferraille.*)

SECTION IX.

FABRICATION DES CERCLES ET RUBANS.

Indépendamment des fers de divers échantillons dont on a donné le classement, pages 52, 57 et 120, on a besoin dans les arts de fers plus minces et d'une grande longueur pour cercler les cuves et les tonneaux, pour faire des liens de toute espèce, et pour une foule d'objets de serrurerie.

Sous le rapport de leurs dimensions en largeur et épaisseur, ces fers se divisent en *cercles* ou *fers feuillards, mi-rubans* et *rubans*.

Les cercles comprennent les fers de 18 à 48 lignes de largeur sur 1 ½ à 2 lignes d'épaisseur;

Les mi-rubans, ceux de 13 à 17 lignes de largeur sur 1 à 1 ½ ligne d'épaisseur;

Enfin les rubans comprennent les fers de 8 à 12 lignes de largeur sur ½ à 1 ligne d'épaisseur.

Ce classement n'est pas absolument le même dans tous les établissemens, mais il est assez généralement suivi.

On donne aux cercles et rubans une longueur qui varie de 6 à 10 mètres (18 à 30 pieds).

Ces fers se fabriquent au laminoir; mais on ne pourrait les obtenir immédiatement d'une trousse en une seule chaude, parce qu'il faudrait un trop grand nombre de passages, et que le métal serait trop refroidi avant d'être parvenu à l'épaisseur voulue. On est donc obligé de prendre du fer en bidons, de le dégrossir sous des laminoirs marchands ou de petit mill, et de l'achever sous des laminoirs particuliers.

On ne doit employer à cette fabrication que des fers forts et mous, parce que le travail s'achevant à une faible température, les autres fers se gerceraient sur les côtés et produiraient des bandes défectueuses. Les fers cassans doivent en être absolument exclus, parce que les cercles et rubans sont employés et travaillés à froid.

La couche d'oxide qui se forme pendant le laminage préparatoire étant assez forte relativement à l'épaisseur des bandes, elle doit être enlevée, lors du finissage, pour que le fer ait réellement l'épaisseur déterminée. Il résulte, en outre, de cette opération que les surfaces sont plus lisses et pour ainsi dire polies, ce que l'on recherche pour un grand nombre d'ouvrages.

Des laminoirs à cercle et à rubans. Ces laminoirs, représentés par les *fig.* 1 à 3, Pl. 29, sont montés dans des cages en fonte à vis de pression, semblables à celles des laminoirs pour le fer en barres.

Les cylindres doivent être durs, parfaitement unis, et coulés en coquilles, comme ceux des laminoirs à tôle. Le mouvement leur est donné par deux pignons, au moyen d'allonges et de manchons. Leur écartement est réglé immédiatement pour chaque épaisseur de fer, au moyen de cales placées

sous les empoises supérieures; et les vis de pression maintiennent cet écartement.

Pour enlever la couche d'oxide provenant du laminage préparatoire, on se sert de plusieurs appareils, parmi lesquels celui qu'on va décrire est le plus commode et atteint le mieux son but.

Voici en quoi il consiste : du côté de l'entrée des cylindres est placée une espèce de boite en fonte G G, *fig.* 1 et 3, dessinée séparément *fig.* 12 et 13. Cette boite s'appuie contre les montans de cage, repose sur une barre de support H, *fig.* 3, et elle est solidement calée entre les deux cages. Sa partie antérieure porte, de chaque côté, des coulisses verticales *m*, *n*, *fig.* 12 et 13, dans lesquelles glisse une plaque de fonte *d d*, *fig.* 1 et 3. Sur cette plaque est fixé, au moyen d'une barre de pression et de boulons, un couteau en fer à biseau aciéré *c c*; et sur le fond de la boite est calé un autre couteau dont le biseau correspond à celui du couteau supérieur.

La plaque *d d* est suspendue à un levier D E au moyen de deux tringles à chapes A B, et s'élève ou s'abaisse parallèlement à elle-même en suivant les mouvemens du levier. Ce dernier est manœuvré au moyen d'une tringle E F, dans l'anneau de laquelle l'ouvrier place son pied quand il doit opérer la pression.

On soulève le levier pour engager la bande, comme on le voit en *g r*, *fig.* 3, et, dès qu'elle est pincée entre les cylindres, on la comprime entre les deux couteaux, qui raclent ses deux faces sur toute leur longueur, et enlèvent la couche d'oxide.

Cet appareil se nomme *racloire* ou *raclette*.

Afin de faire travailler les cylindres successivement sur toute la longueur de leur table, et pour guider la barre de fer, on place en avant de la boite une tige *t t*, mobile dans les coulisses *o o* du lit, *fig.* 3 et 21, et que l'on fixe dans chaque position au moyen d'un écrou.

A la sortie des cylindres est placé un tablier formant garde, afin d'empêcher le fer de s'enrouler autour du cylindre inférieur.

Dimensions des cylindres. Pour faire les cercles, on se sert de cylindres ayant de $0^{m}65$ à 1^{m} de longueur de table, sur $0^{m}35$ à $0^{m}40$ de diamètre. Pour les mi-rubans et les rubans, la table des cylindres varie de $0^{m}32$ à $0^{m}50$ de longueur, et le diamètre de $0^{m}32$ à $0^{m}35$. Le montage des cylindres et la disposition de la racloire sont les mêmes dans tous les cas. (Voyez la Description.)

Vitesse des cylindres. Lorsque les cylindres ont de 0m35 à 0m40 de diamètre, on règle leur vitesse à quarante ou quarante-deux tours au plus par minute ; ils peuvent faire, sans inconvénient, jusqu'à quarante-cinq tours, lorsque leur diamètre n'est que de 0m32. Avec des vitesses plus faibles, les bandes se font moins bien, parce qu'elles se refroidissent trop, et, en outre, il faut employer plus de force. Avec des vitesses plus grandes, le fer s'éraille sur les bords.

Position des laminoirs. Afin d'activer le travail le plus possible, on place les laminoirs à cercles et à rubans derrière ceux qui leur servent de préparateurs, et à une distance de 3 à 4 mètres au plus. Le fer, en sortant des préparateurs, est saisi par le lamineur, qui l'engage de suite entre les cylindres finisseurs, sans attendre qu'il soit sorti des premiers.

Les laminoirs à cercles et rubans doivent, dans tous les cas, démasquer leurs préparateurs, c'est-à-dire être placés un peu sur le côté, afin de ne pas gêner ceux-ci lorsqu'ils travaillent sur fer en barres. Cette disposition n'offre aucun inconvénient, parce que les bandes sont assez flexibles pour changer facilement de direction.

Les préparateurs des laminoirs à cercles sont les laminoirs marchands ; ceux des laminoirs à rubans sont les petits laminoirs.

Conduite du travail. Les bidons dont on se sert pour les cercles sont recoupés dans des fers plats de même largeur que les bandes à obtenir. On les fait plus ou moins longs, selon l'épaisseur du fer, et les dimensions des cercles tant en longueur qu'en épaisseur. Pour les mi-rubans, on se sert ordinairement de fer méplat ou d'une épaisseur égale à peu près à la moitié de sa largeur. Les rubans se fabriquent avec des bidons carrés, mais on y emploie aussi des fers méplats pour accélérer l'opération. Ces bidons ont toujours même largeur que les rubans ou mi-rubans à produire.

On chauffe les bidons dans un four à réchauffer ordinaire, et l'on n'en met que depuis le pont de chauffe jusque vers le milieu de la longueur de la sole, afin qu'ils soient moins en prise à l'oxidation.

Le chauffage doit être dirigé comme on l'a indiqué page 114.

Dès qu'ils sont chauffés au blanc, on les enlève un à un, en commençant par ceux qui sont près du pont, refermant la porte chaque fois, et on les lance sur les plaques coursières, qui les conduisent aux laminoirs préparateurs. Là, ils sont passés dans trois ou quatre cannelures au plus, et avec la plus grande célérité.

Au sortir de la dernière cannelure, l'aide-lamineur saisit le bout de la

bande et le porte de suite au lamineur de cercles ou de rubans; celui-ci l'engage dans ses cylindres sans perdre de temps, et, avec sa tenaille, maintient la bande contre la tige qui lui sert de guide, afin qu'elle ne prenne pas une autre direction et sorte bien droite. L'aide de ce lamineur la reçoit entre les pinces de sa tenaille, et se recule en tendant sur la bande et dans la direction de sa sortie, afin qu'elle ne prenne pas d'inflexion latérale.

Les bandes faites sont portées en arrière sur le sol et s'y refroidissent.

Il faut avoir soin, après chaque passage, de rafraîchir les couteaux avec de l'eau, afin qu'ils se détrempent moins vite. On change de temps en temps la position de la tige directrice, pour faire travailler également toutes les parties des tables et des couteaux.

Déchets et consommations. Dans une opération bien dirigée, et lorsque le chauffage est fait avec les soins convenables, les déchets par oxidation ne doivent pas s'élever à plus de 8 pour cent en moyenne. Dans quelques usines, on n'atteint même pas cette proportion, tandis que, dans d'autres, les déchets moyens s'élèvent jusqu'à 10 ou 12 pour cent. Cet excédant considérable provient presque toujours de ce que l'on charge trop de fer à la fois, ou de ce qu'il est chauffé trop long-temps et sans soins dans la conduite du feu.

La consommation de houille n'excède pas ordinairement 45 à 50 kil. par 100 kil. de fer fini, et, avec d'habiles chauffeurs, elle n'est souvent que de 35 à 40 kil.

Bottelage. Lorsque les bandes sont refroidies, on les plie à la longueur de 2 ou 3 mètres, puis on les rassemble en bottes de 25 kil., y compris le poids des liens, qui se font avec le même fer que celui de chaque paquet. Ces liens sont coupés à la cisaille et pris dans les bandes défectueuses.

SECTION X.

DES FENDERIES.

On a vu précédemment (Sect. II, p. 57, et Sect. III, p. 83) que les petits fers carrés, de 4 lignes et au-dessous, peuvent être préparés soit au martinet, soit avec un laminoir à tringles; mais ce ne sont pas les seuls moyens d'obtenir ces petits échantillons, et lorsqu'on n'a pas besoin d'une entière

perfection dans les formes ou dans la qualité du fer, on les fabrique avec bien plus d'économie de temps, de main d'œuvre et de combustible, au moyen de machines que l'on nomme *fenderies* ou *découpoirs*. L'usine ou la partie d'usine dans laquelle ces machines sont employées prend aussi le nom de *fenderie*.

Le travail consiste à chauffer le fer que l'on veut convertir en tringles ou *verges ;* à le réduire à une épaisseur égale à celle des verges que l'on veut obtenir, en le faisant passer une ou plusieurs fois entre des cylindres que l'on nomme *espatards ;* et à le fendre ensuite dans le sens de sa longueur.

DES FOURS.

On ne se sert plus aujourd'hui, pour chauffer le fer destiné à la fente, que de fours dormans ou de fours à réverbère. Les premiers sont toujours alimentés à la houille ; les seconds peuvent l'être à la houille ou au bois, et même avec de menus branchages mis en fagots, ou avec de la tourbe.

Fours dormans. Les fours dormans, employés principalement en Belgique et dans les provinces rhénanes, ont été décrits en parlant de la fabrication de la tôle, et sont représentés par les *fig*. 5 à 8, Pl. 32. Le fer y est placé sur la houille même, et il en résulte généralement une économie sur le combustible et sur les déchets, comparativement aux fours à réverbère. Toutefois, ces derniers, convenablement disposés, produisent des résultats aussi avantageux que les fours dormans.

Fours à réverbère. Les fours à réverbère sont à sole plane rectangulaire, dont les dimensions varient de 2^m à 4^m en longueur, selon la longueur des barres à chauffer, et de 0^m80 à 1^m20 en largeur. On doit les construire de manière qu'ils n'aient qu'un faible tirage, et qu'il ne s'y introduise que la quantité d'air suffisante pour alimenter la combustion. A cet effet, il faut faire l'échappement de la flamme et de la fumée très petit par rapport à la surface de la grille. Par cette disposition, on concentre la chaleur et on l'utilise mieux. Pour pouvoir la graduer selon les besoins du travail, on place un registre à coulisse dans la cheminée, au-dessus de l'orifice par laquelle les produits de la combustion y pénètrent ; ou bien on adapte à la partie supérieure de cette cheminée un registre à bascule, ce qui est beaucoup plus commode pour les ouvriers.

La voûte doit toujours être assez élevée, afin que le four puisse rece-

voir une charge suffisante. On lui donne, au moins, 0^{m}60 de hauteur sous clé, et au plus 1^{m}.

Les barres devant être placées dans le sens de la longueur du fourneau, la porte de travail doit être située à l'extrémité de la sole et vis-à-vis de la chauffe. Outre que la voûte s'abaisse toujours du côté de la porte, on donne encore à cette dernière une moindre hauteur, afin que la flamme gêne moins les ouvriers lorsqu'on la lève, et pour que l'air entre dans le four en moindre quantité. Une hauteur de 45 à 50 centimètres est suffisante pour la commodité du service, et la largeur peut varier de 60 à 80 centimètres, selon la largeur de la sole. La porte est équilibrée par un contre-poids pour pouvoir s'élever et s'abaisser avec facilité.

La cheminée se place à côté du four; ou si l'on a deux fours, on la construit dans l'intervalle qui les sépare. Les issues qui y conduisent doivent être très près de la porte de travail et sur la sole même, afin que le four soit bien chauffé dans toute sa longueur, et que le fer soit, en quelque sorte, enveloppé par la flamme. Ces issues sont ordinairement disposées comme dans les fours à tôle, ainsi que l'indiquent les lettres *a* et *a'*, Pl. 26, *fig.* 6 à 8, c'est-à-dire qu'il y en a une de chaque côté de la porte, et qu'elles se réunissent à la cheminée par des canaux séparés; mais on peut se servir de la disposition plus avantageuse représentée par les *fig.* 1 à 4, Pl. 30. Dans cette dernière, il y a également deux issues, l'une *a a* pratiquée dans la sole même, et l'autre *b* ménagée dans la voûte. L'issue *a* communique avec la cheminée par un carneau inférieur D, *fig.* 3 et 4, et l'issue *b* par un conduit F H construit en dessus du four. Ce conduit est muni d'un registre à coulisse dont la chaîne de manœuvre vient se rattacher à celle du contre-poids de la porte, et il est toujours fermé et ouvert en même temps que cette dernière. Le four étant chargé et la porte fermée, la flamme n'a d'autre issue que le passage *a a*, et elle est ainsi obligée d'envelopper totalement le fer; lorsque, au contraire, on ouvre la porte de travail, le passage F H devient libre et la flamme s'y dirige aussitôt. On obtient ainsi un très bon chauffage avec peu de combustible, et la flamme ne peut incommoder les ouvriers. Cette disposition peut être employée soit que l'on chauffe au bois ou à la houille. (Pour les détails de construction de ce four, voyez la Description.)

On construisait autrefois, et l'on voit encore dans quelques usines, des fours à réverbère alimentés au bois, appelés *taqueries*, et qui étaient mu-

nis de deux chauffes, mais ce système dispendieux pour le combustible est généralement abandonné.

La sole des fours à réverbère est garnie de chenets en fonte ou en briques, de 8 centimètres de hauteur, sur lesquels on pose les barres de fer; elle est séparée de la chauffe par un petit pont ou autel de 15 à 20 centimètres de hauteur au plus. Une plus grande élévation empêcherait la flamme de passer entre les chenets, et les barres inférieures ne seraient pas suffisamment chauffées.

Position et dimensions de la grille. Lorsque les fours à réverbère doivent être alimentés à la houille, on règle la hauteur de la grille par rapport à la sole comme on le fait dans les fours à réchauffer, et d'après les mêmes considérations. (Voy. Section III, p. 69 à 72.) Si l'on doit y brûler du bois ou des fagots, il faut la placer à environ 80 centimètres au-dessous du pont de chauffe, afin que l'air se brûle plus complétement avant d'entrer dans le four.

Une surface de grille comprise entre le tiers et le quart de celle de la sole est toujours suffisante en brûlant de la houille. Elle pourrait être beaucoup moindre en employant du bois, s'il était recoupé en petits morceaux; mais, comme on l'emploie ordinairement en petits fagots, que l'on nomme *bourrées* ou *fagotins*, on est obligé de lui donner à peu près les mêmes dimensions que si l'on devait brûler de la houille. En faisant usage de tourbe, il convient de donner à la grille environ les $\frac{4}{10}$ de la surface de la sole.

Section de carneaux et dimensions de cheminée. La section des carneaux ou issues de la flamme se règle selon qu'on veut se passer de registre ou en faire usage.

Dans le premier cas, la section du carneau, ou la somme des sections, s'il y en a plusieurs, ne doit pas excéder $\frac{1}{10}$ de la surface de la grille, ainsi que cela se pratique pour les fours de tôlerie dans les mêmes circonstances. Si toutefois les carneaux sont longs, on peut régler leur section à $\frac{1}{9}$. Cette disposition a l'inconvénient de n'offrir aucun moyen pour activer le tirage au besoin, et il est préférable de donner aux carneaux une section comprise entre $\frac{1}{5}$ et $\frac{1}{6}$ de celle de la grille, sauf à se servir d'un registre que l'on ferme en partie dans la marche ordinaire.

En faisant usage du système de four représenté par la Pl. 30, il faut donner à l'issue pratiquée dans la voûte une section un peu plus grande que

celle de l'issue de la sole, afin que la flamme y soit fortement attirée dès qu'on lève la porte.

La section de cheminée peut être réglée au quart ou au cinquième de celle de la grille. Si la même cheminée sert à deux fours, il faut la partager par une languette qui peut ne pas régner dans toute la hauteur, mais qui doit toujours excéder d'au moins 2 mètres le point où la fumée pénètre dans le tuyau.

Il n'est jamais nécessaire de donner à la cheminée une élévation de plus de 9 à 10 mètres.

Position des fours. Quels que soient les fours employés, ils doivent être placés à environ 5 mètres des équipages ou machines de fenderie, et leur porte de travail doit être tournée du côté de ces machines, afin que le transport du fer, au sortir des fours, n'éprouve ni lenteur ni difficulté.

Nombre et capacité des fours. Il est avantageux d'avoir deux fours pour un même équipage de fenderie, parce que chacun recevant alors une moindre quantité de fer, le chauffage est plus rapide; et, outre que le travail s'en trouve accéléré, il y a aussi de moindres déchets.

On construisait autrefois des fours pouvant contenir jusqu'à 3,000 kil. de fer, et alors on n'en employait qu'un. On préfère aujourd'hui régler leur capacité pour 1,000 à 1,500 kil., et se servir de deux fours, qui sont tous deux en feu et servent alternativement.

DES MACHINES.

Espatards. Les espatards sont des cylindres unis qui servent à préparer le fer au sortir des fours, c'est-à-dire à le laminer pour le réduire à l'épaisseur voulue. Ils sont montés comme les laminoirs à tôle ou à rubans, sauf qu'ils n'ont ni chevalets, ni boîte d'entrée.

On leur donne ordinairement 35 à 40 centimètres de diamètre, et autant de table.

Dans les forges à l'anglaise, ils sont souvent remplacés par les laminoirs cannelés à fer plat.

L'espatard ou les laminoirs qui en tiennent lieu sont placés devant la fenderie, dans la même ligne ou à peu près, et à une distance de 3 à 4^m au plus, afin que les barres, après avoir été aplaties, puissent être présentées immédiatement aux découpoirs.

La vitesse de rotation des espatards est ordinairement la même que celle des découpoirs, afin qu'il y ait concordance dans le temps de leur travail.

Fenderies ou découpoirs. Ces machines se composent de deux systèmes de *taillans* ou couteaux circulaires, faits en acier ou en fer aciéré, comme l'indiquent les lettres *t*, *t*, *fig.* 3 et 4, Pl. 31. Chaque système est monté sur un arbre en fer qui traverse les taillans.

Entre ces pièces sont placés des disques *e*, *e* de même épaisseur, mais d'un plus petit diamètre, qui les maintiennent à une distance égale à la largeur des verges que l'on veut fabriquer. Ces disques sont désignés sous le nom de *fausses-rondelles*, de *rondelles*, ou d'*entre-deux*, et forment, par leur ensemble avec les taillans, ce que l'on nomme une *trousse*. Chaque trousse est appuyée contre une rondelle d'épaulement R, faisant corps avec son arbre; elle est recouverte du côté opposé par une *rondelle mobile* ou *garde* R', et le tout est assemblé par quatre boulons, qui rendent ce système invariable.

Les trousses sont disposées l'une au-dessus de l'autre, de manière que les taillans de l'une correspondent aux entre-deux de l'autre, et remplissent parfaitement les intervalles formés par ces pièces. Les taillans doivent se pénétrer ou se croiser de 1 centimètre à 1 $\frac{1}{2}$ centimètre au plus; en les engageant davantage, on augmente l'angle qu'ils forment à leur jonction, et le fer est saisi moins facilement.

On voit aisément, par les *fig.* 3 et 5, que le fer, en passant entre les trousses, est coupé en autant de parties qu'il y a d'entre-deux.

Pour empêcher les verges de s'enrouler autour des découpoirs, on place entre les taillans des lames droites *f*, *f*, *fig.* 5, 6 et 16; ces lames, que l'on nomme *vergettes* ou *fourchettes*, ont, en outre, pour but de faire sortir les verges en ligne droite et de les rassembler en faisceau. Les vergettes sont portées par des pièces S S, S' S', que l'on nomme *seignes* ou *porte-vergettes*.

Les diverses parties de la machine sont assemblées solidement dans des cages à colonnes en fer; quatre écrous de pression, s'adaptant à l'extrémité des colonnes, maintiennent et consolident ce système, dont tous les détails sont indiqués par la description de la Pl. 31.

Afin que le fer soit exactement dirigé sur les taillans et soit fendu avec le moins de perte possible, on place, du côté de l'entrée, des guides *g*, *g*, *fig.* 3 à 6, 14 et 15, qui ont entre eux un écartement plus grand de 4 à 5 milli-

mètres seulement que l'épaisseur des trousses. Ces guides sont adaptés aux *tirants* J, J, qui séparent et maintiennent les porte-vergettes. Cette disposition peut d'ailleurs varier selon le système de construction de la machine.

On nomme *équipage* l'ensemble des pièces qui composent une fenderie ou un espatard.

Les taillans sont le plus ordinairement en fer, aciérés à la circonférence ou trempés en paquet; ils doivent être bien plans, d'égale épaisseur, et, autant que possible, tournés sur leur pourtour, pour être égaux de diamètre et avoir des arêtes plus vives. On les chauffe au rouge-cerise pour les tremper, et on les recuit jusqu'au bleu léger.

Les vergettes peuvent être simplement en fer fort; mais il est préférable d'aciérer les côtés, qui reçoivent le frottement des verges.

Les trousses ne sont pas toujours serrées entièrement par des boulons, ou même quelquefois on supprime ces boulons, pour laisser un certain jeu au taillans. Cette disposition se rencontre fréquemment dans les anciennes fenderies, et notamment dans celles de la Bretagne et de la Normandie. Dans ce cas, les tirans, maintenus par des vis ou des coins de pression, serrent légèrement le haut de la trousse inférieure pour rapprocher convenablement les taillans au point de passage du fer, après quoi ces derniers prennent plus d'écartement et laissent dégager le fer avec plus de facilité. C'est ce que l'on nomme travail à *taillans battans* ou *libres*. Il a l'inconvénient de donner plus de bavures, et moins de régularité aux verges, et, par ces motifs, n'est plus pratiqué, pour ainsi dire, que par suite de l'habitude routinière des ouvriers.

Dimensions et nombre des taillans. Le diamètre des taillans inférieurs et supérieurs est le même; il peut varier de 27 à 40 centimètres; mais il ne change jamais dans la même machine. Il est avantageux d'employer de grandes dimensions, parce que le travail marche avec plus de célérité; seulement les taillans sont plus difficiles à confectionner et exigent plus de force motrice.

Les entre-deux ont un diamètre moindre de 12 à 15 centimètres que celui des taillans.

L'épaisseur des taillans et entre-deux d'une paire de trousses est la même, et égale à la largeur du fer fendu que l'on veut obtenir.

Le nombre de taillans d'un équipage est toujours impair, et il doit en être ainsi pour que les verges extérieures soient coupées aux mêmes dimen-

sions que les autres. C'est ce que l'on comprendra facilement à la seule inspection de la *fig.* 3, Pl. 31. On les dispose en nombre pair, tantôt sur l'arbre supérieur, tantôt sur l'arbre inférieur.

Le nombre de taillans dont se composent les trousses dépend des dimensions des verges à fabriquer; il est d'autant plus grand que ces fers doivent avoir moins de largeur.

Voici les nombres de taillans et entre-deux employés pour les verges de différentes dimensions :

Largeur des verges.			Nombre de taillans.	Nombre d'entre-deux.	Nombre de verges.
2 lignes et ½ ...... 3 et 4 lignes......	Trousse	supérieure	6	5	11
		inférieure	7	6	
5 ou 6 lignes......	Trousse	supérieure	5	4	9
		inférieure	6	5	
6 ou 7 lignes......	Trousse	supérieure	4	3	7
		inférieure	5	4	
9 ou 10 lignes.....	Trousse	supérieure	3	2	5
		inférieure	4	3	
12 lignes.........	Trousse	supérieure	2	1	3
		inférieure	3	2	

Vitesse des taillans. Dans les usines où l'on travaille à taillans battans, le nombre de tours des découpoirs varie de 35 à 50 par minute, selon l'épaisseur et la qualité du fer à fendre, la plus grande vitesse correspondant à l'échantillon le plus mince. Dans celles où l'on travaille à trousses serrées, la vitesse des taillans est plus grande, et ne varie guère que de 50 à 70 par minute. Cette dernière vitesse est un peu trop forte, et il en résulte souvent des engorgemens de fer; il est préférable de ne pas excéder soixante-cinq à soixante-six tours pour les plus petits échantillons.

Communication de mouvement. Le mouvement est donné aux taillans en sens inverse, au moyen de deux pignons disposés comme pour les laminoirs, et reliés, avec les trèfles T, T des arbres, par des allonges et des manchons.

TRAVAIL DE FENDERIE OU FABRICATION DES VERGES.

Choix et dimensions du fer. A l'exception du fer rouverin ou brisant à chaud, toutes les qualités de fer sont propres à la fente. On les choisit selon que l'on veut fabriquer des verges *douces*, *métis* ou *cassantes*. Pour la verge douce, on se sert des fers les plus doux, les plus liants, et qui peuvent se plier plusieurs fois en sens contraire sans se rompre; pour la verge métis, on emploie les fers de moyenne qualité; et enfin pour la verge cas-

sante, on fait usage de fers durs, et de fers cassants à froid désignés dans beaucoup d'usines sous le nom de fers *chanins*.

Les fers sont préparés, soit au marteau, soit au laminoir, en bandes de largeur convenable et de 8 à 9 lignes d'épaisseur. Leur largeur se règle d'après la largeur et le nombre de verges que peuvent donner les diverses compositions de trousses. Ainsi, pour 3 lignes, les taillans donnant 11 verges, le fer devra avoir 33 lignes; pour 6 lignes, les taillans donnant 7 verges, la largeur du fer devra être de 42 lignes, et ainsi de suite.

On recoupe les bandes en bidons de $0^{m}80$ à 2^{m} de longueur, selon la longueur et l'épaisseur des verges à produire.

Chargement et chauffage des fours. Les fours à réverbère doivent être chauffés au blanc avant d'y introduire le fer. Le temps nécessaire pour cette préparation varie de deux à quatre heures, selon la nature du combustible, la capacité et le tirage des fours. Quand on se sert de fours dormans, on ne place le fer dans le foyer qu'après que la houille est embrasée.

Selon la grandeur des appareils à réverbère, on charge à la fois de 600 à 1,500 kil. de fer en bidons. On dispose les premières bandes sur les chenets de la sole, et on empile les autres les unes sur les autres, de manière que la flamme puisse circuler librement entre elles, et qu'elles soient chauffées également dans toutes leurs parties.

Dans les fours dormans, on ne charge à la fois que la quantité de barres qu'on peut chauffer sans ajouter de nouveau combustible. La grille doit être bien couverte de houille dans toute son étendue, pour qu'il n'échappe que le moins d'air possible à la combustion, et que le fer soit moins oxidé.

Dès que la charge est faite dans les fours à réverbère, on abaisse la porte de travail, on charge la grille de houille ou de bois, et l'on ferme avec soin la porte ou le tisard de la chauffe. Le chauffeur ouvre alors le registre de la cheminée, afin d'élever la température le plus rapidement possible. Aussitôt qu'il s'aperçoit que le feu baisse, il introduit de nouveau combustible sur la grille avec la plus grande célérité, afin d'éviter qu'il s'introduise trop d'air dans le four par-dessus la chauffe.

Lorsque le fer est parvenu à la chaleur blanche ou presque au blanc soudant, il est prêt à être travaillé; et alors on ferme le registre ainsi que le cendrier, de manière à conserver la chaleur, et à ne laisser qu'une faible issue aux produits de la combustion.

On emploie ordinairement une heure et demie à deux heures pour chauffer, au point nécessaire, une charge de 1,000 à 1,500 kil.

Espatage et fendage. Dès que le fer est parvenu à la température nécessaire, le chauffeur tire les barres une à une, et en refermant chaque fois la porte ; le lamineur d'espatard les reçoit, les passe entre les cylindres une ou plusieurs fois, selon l'épaisseur du fer et la force du moteur ; le fendeur les saisit après le dernier passage, et les introduit entre les taillans. L'aide-fendeur reçoit les verges sur un crochet, ou les prend avec une tenaille disposée de manière à les rassembler, et les porte en arrière sur le sol, où elles se refroidissent.

Le travail se succède sans interruption et avec le plus de promptitude possible, jusqu'à ce que le four soit vidé. Toutes les barres étant étirées et fendues, on recharge immédiatement le four, et l'opération recommence de la même manière.

Lorsqu'on se sert de deux fours, on les charge à intervalle tel, que le fer du second soit prêt lorsque la charge du premier est employée.

Le fendeur doit avoir soin de diriger un filet d'eau sur ses taillans pour les rafraîchir et les empêcher de se détremper.

Il faut vingt-cinq à trente minutes pour fendre 1,500 kil. de fer, ou environ une heure pour tailler les charges de deux fours. Les fendeurs ont donc de demi-heure à une heure de repos, et, pendant ce temps, ils s'occupent à examiner et à trier les verges.

Bottelage. Le triage terminé, les verges sont réunies en bottes de 25 ou 50 kil., y compris les liens. On place au milieu des bottes les bouts de verges cassées, et on les serre par trois liens de même fer, que l'on fait rougir pour qu'ils s'appliquent parfaitement.

Rebattage. Les verges ayant toujours des bavures plus ou moins fortes, on les rebat quelquefois au martinet pour faire disparaître ces aspérités. Ce travail, qui exige un léger réchauffage, ne se fait que dans quelques cas particuliers, comme lorsqu'on veut donner plus de nerf au fer qui est susceptible d'en prendre par le martelage, et qui est destiné soit aux travaux de tréfilerie, soit à certains genres de clouterie, soit enfin à d'autres usages qui exigent des qualités analogues. Les verges destinées à la clouterie ordinaire ne sont pas, en général, soumises à cette opération, parce que, dans le plus grand nombre de cas, les clous ont besoin de plus de raideur que de flexibilité.

Consommations et déchets. On manque de données certaines sur la con-

sommation du combustible dans le travail de fenderie, surtout en ce qui concerne le bois, à cause des divers modes d'évaluation dont on se sert, et dans lesquels on ne fait pas entrer le poids.

Voici cependant des données positives qui se rapportent aux fours représentés Pl. 30, et qui ont été recueillies aux forges d'Aron (Mayenne), où ces appareils sont employés.

Le chauffage se fait avec des bourrées ou petits fagots de branchages impropres à la carbonisation. Le poids moyen de chaque bourrée est de 4 kil., et l'on en brûle quarante-quatre à quarante-six, dans l'espace de deux heures, pour chauffer et fendre 1,200 kil. de fer; c'est donc 184 kil. de bois pour cette quantité de fer, ou environ 15 pour cent du fer introduit dans le four. Avec l'ancien four, on brûlait au moins un tiers de bois en sus Le chauffage préparatoire du four exige de trois et demie à quatre heures, pendant lesquelles on consomme soixante-cinq à soixante-dix bourrées.

Dans les fours à réverbère alimentés à la houille, la consommation paraît s'élever à 20 ou 25 pour cent; mais il est probable qu'elle serait bien moindre dans un appareil convenablement établi.

Les déchets en réverbère varient de 3 à 4 pour cent; et dans les fours dormans dont la grille est couverte avec soin, ils excèdent rarement 2 à 2 $\frac{1}{2}$. Dans les fours actuels de l'usine d'Aron, ils ne dépassent pas 3 pour cent; avec l'ancien four, ils s'élevaient souvent jusqu'à 5, et leur moyenne était de 4 environ.

Produits d'une fenderie. En travail continu de jour et de nuit, la fenderie d'Aron, pourvue d'un seul espatard, produit par semaine quarante tonnes de verges de 2 $\frac{1}{2}$ à 3 lignes. Les fenderies qui travaillent en verges de 4 à 6 lignes peuvent produire de soixante à soixante-cinq tonnes dans le même temps, si les opérations sont bien conduites.

Nombre d'ouvriers nécessaires. Pour le service d'une fenderie à double équipage, c'est-à-dire composée d'un découpoir et d'un espatard, en la supposant desservie par deux fours, il faut deux *chauffeurs*, un lamineur d'espatard ou *espateur* et son aide, un *fendeur* et son aide. Quelquefois on supprime un des chauffeurs, et l'on réduit ainsi le nombre d'ouvriers à cinq. Ces ouvriers se relèvent par tournées de douze heures.

SECTION XI.

DES ÉTATS ET NOTES DE ROULEMENT A TENIR DANS LES FORGES.

La multiplicité des opérations et des mouvemens de matière qui a lieu, même dans la plus petite forge, exige que l'on tienne avec le plus grand soin des écritures qui conservent avec détails la trace de tout ce qui se fait. Évaluer en masse les résultats d'un travail quelconque, est la méthode la plus vicieuse, parce qu'on n'a alors aucun moyen de contrôle, et qu'on ne peut savoir, par conséquent, dans quelle partie il est possible ou nécessaire d'apporter des améliorations.

Les notes à tenir se résument en *états de roulement* et en *journaux de roulement*. Il faut, en outre, des *carnets de fabrication*, dans lesquels les employés, chargés de la surveillance des divers travaux de l'usine, inscrivent les opérations de chaque jour. Ces carnets fournissent ainsi tous les élémens de la comptabilité industrielle. Ils doivent être tenus dans le même ordre que les états de roulement, et avoir une disposition semblable, afin que le dépouillement puisse s'en faire avec plus de facilité.

États de roulement. Dans toute usine, on doit avoir un état journalier et un état mensuel pour chaque espèce de fabrication. L'état journalier n'est que le relevé des carnets de fabrication ; il ne renferme que les résultats numériques du travail de chaque jour sans déduction d'aucunes conséquences. L'état mensuel est le résumé de l'état journalier, et doit renfermer, en outre, toutes les indications qu'il est utile d'avoir sur la fabrication, tels que les rapports de consommations, produits et déchets, les quantités et proportions de matières employées, etc.

La disposition des états mensuels fixe nécessairement celle des états journaliers, et, par conséquent, il suffit de donner ici quelques exemples des premiers, tant pour les anciennes usines que pour les forges à l'anglaise.

Pour fixer les idées, on supposera qu'il s'agisse d'abord d'une forge à l'allemande avec martinets et addition de laminoirs, afin de comprendre la fabrication la plus étendue qui se fait habituellement dans ces usines : savoir, des barres dégrossies au marteau pour le travail des martinets et des laminoirs, des fers marchands ou de grosse forge, des fers martinés, et les divers produits des laminoirs, tels que tôle, fers noirs, fers de coutellerie, etc., ainsi que l'indiquent les états suivans.

(N° 1.)

ROULEMEN

MOIS.	NUMÉROS DES FEUX.	MANCHES ET RESSORTS.	SUIF OU GRAISSE.	CONSOMMATIONS. CHARBON. Cuveaux par feu.	CHARBON. Poids à 124 kil. l'un.	FONTE. DOUCE. Par feu.	DOUCE. Total.	CASSANTE. Par feu.	CASSANTE. Total.	BOCCAGES. Par feu.	BOCCAGES. Total.	REBUTS et ROGNURES. Par feu.	REBUTS et ROGNURES. Total.	MATIÈRES AFFINÉES. Par feu.	MATIÈRES AFFINÉES. Total.
			kil.	cuveaux.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	
	1	»	»	184	22,816	5,120		15,295				3,982		24,397	
Janv.	2	2	13	178	22,072	2,749	30,589	15,650	30,945	2,450	2,450	2,433	6,415	23,282	70,39
	3	1	»	169	21,018	22,720		»				»		22,720	

A ce tableau, on doit ajouter une colonne d'observations indiquant brièvement la durée et la cause des arrêt
main-d'œuvre et frais divers, comme on l'a indiqué au tableau de la page 156, I[re] Partie, sect. IX, en compren

Le seul examen de ce tableau fait ressortir immédiatement son utilité, soit pour comparer entre eux les consommations, produits et déchets des divers feux, soit pour juger des mélanges de matières les plus avantageux

(N° 2.)

ROULEMEN

MOIS.	CONSOMMATIONS. SUIF.	CHARBON. Cuveaux par feu.	CHARBON. Poids à 124 kil. l'un.	FER EN BARREAUX. Doux.	FER EN BARREAUX. Métis.	FER EN BARREAUX. Cassant.	FER EN BARREAUX. Total.	PRO… VERGE. De tirerie.	VERGE. Crenelée.	MARTINET ROND. Doux	M…
	kil.	cuveaux.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	
Janvier.	3	111	13,764	14,033	164	»	14,197	»	420	10,619	

LA FORGE. (*Année* 1837.)

	PRODUITS.									DÉCHET.			MISE au 1,000.		DURÉE DES FEUX.	PRODUIT MOYEN EN 24 HEURES.
	...REAUX de fer à ...TINER.	FER à LAMINER.		FER MARCHAND.			TOTAL									
	Métis.	Métis.	Cassant.	Doux.	Métis.	Cassant.	Par feu.	Général.	Par feu.	Total.	Pour 100.	En fer.	En charbon.			
...	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.		kil.	kil.	jours.	kil.
	»	9,393	5,175	»	3,227	»	17,795		6,602		27,06	1,371	1,282	22 ½	785
	»	4,568	7,814	»	1,871	2,706	16,959	50,961	6,323	19,438	27,16	1,373	1,300	*Id.*	784
...	»	»	»	880	»	»	16,207		6,513		28,66	1,401	1,360	*Id.*	713

...cidens survenus soit aux feux soit aux machines. On peut le compléter en y joignant les dépenses de les frais divers, les dépenses d'entretien des feux et machines, ou en les donnant séparément.

sous ces mêmes rapports, soit enfin pour connaître avec facilité, en ensemble et en détail, les quantités de chaque espèce de produit.

MARTINETS. (*Année* 1837.)

...TS.					DÉCHET.		MISE au 1,000.		DURÉE du TRAVAIL.	PRODUIT MOYEN par 24 HEURES
	MARTINET ...LAT ET CARRÉ.		REBUTS.	TOTAL.						
.	Métis.	Cassant.			En poids.	Pour 100.	En fer.	En charbon.		
...il.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.		kil.	kil.	jours.	kil.
0	205	»	10	13,894	303	2,16	1,022	961	24 ½	567

(N° 3.)

ROULEMENT DES LA…

MOIS.	CONSOMMATIONS.													
	MOULAGES USÉS.						MATIÈRES GRASSES.		HOUILLE.	FER A LAMINER.				
	Moteur.	Fours.	Cylindres.	Cages.	Allonges et manchons.	Total.	Suif.	Huile.		Doux.	Métis.	Cassant.	Verge pour liens.	
	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	
Janvier.	»	125	»	584	85	794	108	30	47,650	»	13,967	10,354	214	24,

A la fin de chaque mois, tous ces états doivent être arrêtés et terminés par une récapitulation présentant les résultats du roulement.

Dans les forges à l'anglaise, on doit suivre la même marche; mais, eu égard aux masses, ordinairement très considérables, des diverses fabrications, il faut établir des états pour chaque industrie et partie d'industrie

(N° 4.)

ROULEME…

MOIS.	NUMÉROS DES FEUX.	TUYÈRES USÉES.	CONSOMMATIONS.									
			FONTES.								COKE.	
			VIEUX MOULAGES.		Boccages.	Au coke.	AU BOIS.		TOTAL.			
			Achetés.	Cassés.			Blanche.	Grise.	Par feu.	Général.	Par feu.	To…
			kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	
Janv.	1	5	29,095	3,276	19,505	50,576	175,635	109,910	388,196	826,190	114,786	262
	2	6	55,138	8,751	1,065	57,550	216,347	99,143	437,994		147,604	

)IRS (UN ÉBAUCHEUR ET UN FINISSEUR). (*Année* 1837.)

	PRODUITS.						ROGNURES POUR 100.	DÉCHET.		MISE AU 1,000.		DURÉE DU TRAVAIL.	PRODUIT MOYEN PAR 24 HEURES.
	Fer noir.	Fer à fiches.	Fer d'étrilles et coutellerie.	Fer plat.	Rognures.	Total.		En poids.	Pour 100.	En fer.	En houille.		
kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.		kil.	kil.	Jours.	kil.
94	154	2,669	593	318	3,003	24,431	14	104	0,5	1,145	450	16 ¼	1,319

particulière, puis ensuite former des tableaux récapitulatifs, s'il est nécessaire, pour représenter l'ensemble des résultats de chacune d'elles, soit en matières, soit en dépenses. Les exemples suivans feront aisément concevoir comment on doit procéder pour avoir une comptabilité complète, bien que l'on ne donne ici qu'une partie des états nécessaires.

S FINERIES. (*Année* 1837.)

:ODUIT en ; MÉTAL.		DÉCHET.			COKE par tonne de fin métal.	DÉPENSES EN MAIN-D'ŒUVRE ET FRAIS DIVERS.				DÉPENSES PAR TONNE DE FIN MÉTAL.	
						Main-d'œuvre.	Frais divers.	TOTAL.		Main-d'œuvre.	Frais divers.
u.	Total.	Par feu.	Total.	Pour 100.				Par feu.	Général.		
il.	kil.	kil.	kil.		kil.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.
95	707,372	52,901	118,818	13,62	340	973 30	345 35	1,318 65	2,668 60	2 90	1 03
77		65,917		15,05	337	989 05	360 90	1,349 95		2 90	0 97

Dans la main-d'œuvre sont comptés le cassage de la fonte, le pesage et le port aux feux, ainsi que le salaire des affineurs. Dans les frais divers sont compris le décrassage des feux, l'usé réel en moulages et l'entretien des feux en tuyères, outils et ustensiles divers.

(N° 5.)

ROULEME

MOIS.	CONSOMMATIONS.							PRODUIT EN FER PUDDLÉ.					
	Fonte.	Fin métal.	Pièces.	Riblons.	Gouvers.	Total.	HOUILLE.	A.	B.	C.	D.	Total.	HOUILLE
	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	
Janvier.	169,75	362,250	33,318	14,929	5,445	432,917	457,150	15,669	323,598	30,541	12,365	381,973	1,1

Les pièces sont des fers provenant de loupes qui n'ont reçu que quelques coups de marteau dans les opérations précédentes, et que l'on fait réchauffer.

Le fer puddlé désigné par A, B, C, D provient :
- A du puddlage de la fonte.
- B du puddlage du fin métal.
- C du réchauffage des pièces.
- D des riblons et ferrailles.

Le produit en fer puddlé sert à régler le compte des puddleurs.

Le produit en fer martelé et dégrossi sert à régler le compte des marteleurs.

Le compte des lamineurs aux cylindres dégrossisseurs s'établit en retranchant de la totalité des fers puddlés le fer martelé et non dégrossi.

Les déchets pour les fers A, B, C, D, sont ceux de chaque espèce de travail

Assez ordinairement on n'établit pas de distinction entre les feux ; mais cependant cette méthode est préférable, surtout si les feux ne sont pas montés de la même manière, parce qu'on peut tirer un utile parti de la comparaison de leurs résultats.

U PUDDLAGE. (*Année* 1837.)

PAR TONNE DE FER.	DÉCHET.										FER MARTELÉ ET DÉGROSSI.					FER MARTELÉ NON DÉGROSSI OU PIÈCES.
	A.		B.		C.		D.		MOYEN.		A.	B.	C.	D.	Total.	
	En poids.	Pour 100.	En poids.	Pour 100.	En poids.	Pour 100.	En poids.	Pour 100.	En poids.	Pour 100.						
kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.
25	1,506	8,87	38,752	10,70	2,877	8,64	2,564	10,47	50,944	11,76	3,124	85,377	24,987	114	113,602	31,817

dans les fours ; le déchet moyen est celui qui résulte de la consommation totale des matières, y compris les gouvers.

L'état journalier doit établir les produits et déchets de chaque four pour régler le compte de chaque ouvrier.

Pour le travail des laminoirs, il faut autant d'états qu'il y a de fabrications distinctes. Ainsi, on doit en établir pour laminoirs marchands, pour le petit mill, pour la fenderie, pour les fabrications de rubans et cercles, pour la tôlerie, etc. Les modèles précédens indiquent suffisamment comment ces états doivent être disposés.

Pour avoir le résultat général du travail des laminoirs, il faut ensuite former un tableau récapitulatif de toutes les opérations particulières, avec les déductions qui sont nécessaires pour en apprécier l'ensemble. Dans ce tableau, on divise les consommations et les produits selon le classement que l'on a adopté pour la vente, ainsi qu'il suit :

(N° 6.) **ROULEMENT GÉNÉRA**

MOIS.	CONSOMMATIONS.							
	Grosse forge.	Petite forge.	Petits fers.	Verge.	Cercles et rubans.	Tôle.	Total.	Combusti
	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	k
Janvier.	220,775	82,840	19,086	8,236	24,925	36,370	392,142	295,10

Les petits fers sont ceux que l'on fabrique aux laminoirs à tringles ou gid-rolls.

La consommation de combustible est une des choses les plus importantes à surveiller, et il est indispensable d'en faire la comparaison mois par mois, afin de prévenir les dilapidations dont cette matière est presque toujours

(N° 7.) **CONSOMMATIO**

MOIS.	FINERIES.	FOURS		TOLERIE.		GRAND
		A PUDDLER.	A RÉCHAUFFER.			A
	Coke.	Chapelé.	Chapelé.	Chapelé.	Grêle.	Grêle.
	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	k
Janvier...	262,390	457,150	243,220	44,750	7,130	1,070

Nota. A la fin de l'année, on forme un état récapitulatif par espèce de combustible.

La série des états doit être terminée par celui des dépenses de toute nature relatives à la fabrication, afin de pouvoir facilement comparer,

ES LAMINOIRS.

(*Année* 1837.)

PRODUITS.							HOUILLE PAR TONNE DE FER.	DÉCHETS. REBUTS ET RIBLONS.	
Grosse forge.	Petite forge.	Petits fers.	Verge.	Cercles et rubans.	Tôle.	Total.		En poids.	Moyenne pour 100.
kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.
[illegible],848	67,817	15,025	6,857	17,670	27,466	326,683	903	65,459	16,70

l'objet, soit dans la fabrication, soit pour les usages divers. L'état de consommation doit indiquer les diverses qualités de combustible et leur répartition. Les qualités se divisent en *pérat*, *chapelé*, *grêle* et *menu*, ou de toute autre manière, selon les dénominations adoptées dans les exploitations qui alimentent l'usine.

E COMBUSTIBLES.

(*Année* 1837.)

[illegible]CHINE [illegible]UR.	PETITE MACHINE A VAPEUR.		FORGE de RÉPARATIONS.	GRILLAGE DU QUARTZ.		CHAUFFAGE de L'USINE.
Menu.	Grêle.	Menu.	Menu.	Chapelé.	Grêle.	Grêle.
kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.
249,260	»	211,290	6,450	2,610	7,716	32,170

chaque mois, la dépense totale à la masse des produits. Il faut y ajouter, en outre, les frais généraux et intérêts de capitaux.

(N° 8.) **DÉPENSES GÉNÉRAL**

MOIS.	FINAGE.	PUDDLAGE.	MARTELAGE.	LAMINAGE.	TOLERIE.	PESAGE.	MACHI
	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr.
Janvier....	2,668 60	3,191 87	1,203 40	2,691 49	899 11	1,458 08	764

Non seulement ce système d'états s'adapte aisément à tous les genres de fabrication, mais encore il peut être employé pour indiquer les mouvemens de matières de toute espèce, les expéditions ou livraisons de marchandises avec leur répartition et leurs prix appliqués à chaque partie prenante. Une série de tableaux connexes et embrassant toutes les opérations industrielles et commerciales d'une usine forme la comptabilité la plus claire, la plus simple et la plus facilement comparable dans toutes ses parties. Pour en compléter les résultats, il faut, à la fin de chaque année, récapituler en un dernier tableau, tous les nombres qui servent à établir le décompte final de l'usine, en y ajoutant les dépenses de toute nature et les frais généraux. On résume ainsi en quelques lignes la situation d'un établissement, et si l'on fait ce travail important chaque mois ou chaque trimestre, on a le précieux avantage de suivre de point en point la marche des opérations, et d'être averti des rectifications qu'il peut y avoir à faire.

Journal de roulement. Le but du journal de roulement dans les forges est le même que celui qui a été indiqué Ire Partie, p. 156. On doit le diviser en autant de chapitres qu'il y a d'opérations ou d'objets différens à embrasser. Il doit relater les observations faites sur l'essence et la qualité des combustibles; l'influence qu'ils exercent sur la qualité des produits; les dispositions et dimensions de foyers les plus avantageuses; les effets résultant de la position et de l'inclinaison des tuyères, ainsi que de la grandeur d'orifice des buses relativement à la pression du vent; les quantités d'air employées, l'influence de sa température et de son état d'humidité; les effets des matières employées ou essayées dans les diverses opérations, sur la qualité des produits, les déchets, la marche et la durée du travail; les tentatives faites pour mieux utiliser le combustible; les observations relatives aux

E L'USINE. (*Année* 1837.)

...CRASSAGE.	QUARTZERIE.	ENTRETIEN des FOURS.	FORGE de RÉPARATIONS.	TOTAL.	FRAIS GÉNÉRAUX ET INTÉRÊTS DE CAPITAUX.	TOTAL GÉNÉRAL.
fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.
250 87	193 87	266 46	722 62	14,410 37	12,500 »	26,910 37

vitesses les plus avantageuses des divers opérateurs ou machines employés, etc.

Un tel travail a non seulement l'avantage d'initier parfaitement à tous les détails des travaux, mais encore de tenir l'attention constamment éveillée sur les modifications ou améliorations qu'ils peuvent réclamer.

SECTION XII.

MODIFICATIONS DANS LA DISPOSITION ET DANS LE TRAVAIL DES AFFINERIES ET DES CHAUFFERIES.

Depuis quelques années, beaucoup d'essais ont été faits dans le but d'obtenir une économie de combustible dans le travail des affineries et des chaufferies. On ne chercha d'abord qu'à faire un meilleur emploi de la chaleur, en utilisant celle qui se perdait, pour réchauffer le fer destiné à être étiré au martinet. Cette première amélioration fut tentée avec succès en 1828, dans les usines de la chute du Rhin; elle consistait simplement à ajouter aux foyers d'affinerie ordinaires, représentés par la Pl. 5, un four à réverbère dont la voûte, s'appuyant contre les piliers qui supportent la cheminée, se prolongeait du côté opposé à la tuyère et dans sa direction. La sole de ce four avait environ 2^{m} de longueur, et une largeur uniforme de 0^{m}65. A l'extrémité du four opposée au foyer, s'élevait une cheminée de 8 à 9^{m} de hauteur, et une porte ménagée au bout de la sole servait à introduire le fer, et à le retirer lorsqu'il était parvenu à la température néces-

saire. La hotte de l'affinerie était bouchée au-dessus des piliers de support.

On supprima ainsi les chaufferies des martinets, mais il n'en résulta aucune économie de combustible dans l'affinerie.

Plus tard, on imagina de construire au-dessus du foyer une voûte en dôme percée d'un trou, pour laisser échapper la flamme dans la cheminée. Par cette disposition, la chaleur étant réfléchie sur le creuset, on obtint une économie de combustible qu'on évaluait de $\frac{1}{5}$ à $\frac{1}{7}$; mais on fut obligé de l'abandonner parce que les ouvriers souffraient trop de la chaleur, et que les cendres, ainsi que les substances terreuses qui se détachaient du dôme, retombant dans le fer, nuisaient à sa qualité et le rendaient pailleux.

Enfin, on adopta la forme de four à réverbère étendant sa voûte jusque sur le creuset, et l'on réunit ainsi l'avantage de l'économie de combustible dans l'affinerie à celui de pouvoir réchauffer le fer sans foyer particulier.

Tout récemment on modifia cette construction, de manière à pouvoir en outre chauffer l'air, soit pour l'affinerie ou la chaufferie même, soit pour un haut-fourneau, et l'on a appliqué la chaleur perdue à la torréfaction du bois.

On va faire connaître celles des dispositions qui, pour l'emploi de l'air froid ou de l'air chaud, ont produit les meilleurs résultats.

AFFINERIES A RÉVERBÈRE.

Selon qu'on veut affiner la fonte avec ou sans chauffage préalable de ce métal, on adopte l'un des systèmes de construction suivans, qui permettent dans tous les cas de réchauffer le fer pour l'étirage.

Si la fonte est employée froide, on peut adopter la disposition en usage à l'usine d'Audincourt et dans plusieurs autres localités, soit pour une seule affinerie, soit en réunissant deux foyers. Les *fig.* 6 à 9, Pl. 33, représentent la double disposition d'Audincourt, dont les résultats sont avantageux.

Les foyers V, V sont construits en saillie à droite et à gauche du four, et leurs portes de travail P, P se trouvent sur le devant; vis-à-vis ces portes sont ménagés des passages Q, Q par lesquels on introduit la fonte, et on la fait avancer jusque près des tuyères T, T, qui sont placées latéralement. Une cloison U sépare les foyers, et ils sont couverts par une voûte qui se relie à celle du four à réverbère construit en arrière. La sole R R de ce dernier est relevée à une hauteur commode pour son chargement et son dé-

chargement; cette hauteur n'influe d'ailleurs en rien sur le chauffage du four ni sur le travail des affineries. Deux conduits rampans X, X conduisent les flammes des foyers dans la capacité du réverbère, et après qu'elles l'ont parcourue dans toute sa longueur, elles s'échappent par la cheminée.

Le four est pourvu de trois portes, deux latérales et une sous la cheminée; les premières servent au chargement des plus gros fers, ou de ceux que l'on veut chauffer plus fortement.

A Audincourt, ces fers sont étirés au laminoir. On charge à la fois vingt-cinq à trente bidons ou petites barres de 0m65 (2 pieds) de longueur sur 4cm (18 lignes) d'équarrissage, et ordinairement, au bout de trente-cinq à quarante minutes, elles sont suffisamment chauffées.

Les deux affineries fournissant plus de chaleur qu'il n'en faut pour cette opération, on avait construit un second four qui recevait la flamme du premier, mais cette disposition peu commode au travail a été abandonnée. Du reste, les deux fours étaient très bien chauffés, et par conséquent un foyer d'affinerie suffit pour un réverbère.

Si la fonte doit être préalablement chauffée, comme on le pratique dans le travail à la champenoise, il est commode et avantageux de se servir de l'affinerie à réverbère représentée par les *fig.* 1 à 5, Pl. 33. Elle est en usage à Schaffouse, à Stuttgard, et dans plusieurs usines des deux rives du Rhin. Cette disposition est la dernière adoptée, et remplit bien le but que l'on s'est proposé.

Le foyer F est immédiatement suivi du four à réverbère, dont la sole se divise en deux parties. La première, que l'on nomme la *banquette*, commence au niveau de la rustine du creuset, et s'élève avec une pente de 5 à 6 centimètres jusqu'au-delà de la première porte latérale en *m*; la seconde, qui est la *sole* proprement dite *ms*, se prolonge horizontalement jusqu'à la cheminée, et une seconde porte latérale est destinée au service de cette partie du four.

La banquette sert à chauffer la fonte, et la sole à chauffer le fer pour l'étirage.

Si le réverbère doit servir pour réchauffer de longues barres comme dans les fenderies, ou des tôles, il est plus commode d'élever la sole, et de pratiquer sa porte sous la cheminée. La banquette n'est en rien changée, mais elle est limitée par une espèce de pont de chauffe élevé verticalement en *m* jusqu'à la sole.

Pour chauffer l'air dans ces appareils, on emploie diverses dispositions,

qui toutes satisfont quant au degré de température nécessaire, mais qui ne sont pas également durables et commodes.

A Stuttgard, on a placé des tuyaux *juxta*-posés, et communiquant entre eux au-dessus du foyer, dont ils composent une partie de la voûte, et l'air, après avoir parcouru ces tuyaux, arrive à la tuyère sans avoir subi de refroidissement.

A Hammereisenbach (Wurtemberg), et dans plusieurs usines du grand-duché de Bade, on emploie, au lieu de tuyaux, des caisses en fonte à compartimens alternatifs, et qui forment également une partie de la voûte au-dessus du foyer.

Le seul inconvénient de ces deux dispositions, c'est que la fonte se brûle assez promptement, et qu'il faut souvent réparer l'appareil.

A Schaffouse, le chauffage de l'air se compose de tuyaux horizontaux traversant la cheminée par laquelle s'échappe la flamme, comme l'indiquent les *fig.* 2 et 3, Pl. 33. Cette disposition est meilleure que les précédentes, et l'air arrive tout aussi chaud à la tuyère, pourvu qu'on ait soin d'envelopper le tuyau de conduite; les tuyaux sont moins exposés à brûler lorsqu'on travaille à l'air froid; enfin, le tirage se fait tout aussi bien, si les espaces libres autour des tuyaux ne présentent pas une section moindre que celle de la cheminée.

Le diamètre des tuyaux et la longueur de la partie qui traverse la cheminée dépendent du volume d'air à chauffer et de la température à laquelle on veut élever cet air. On peut calculer ces dimensions d'après les données indiquées dans la section XI de la Première partie.

Pour un volume d'air de 200 pieds cubes par minute, chauffé de 170 à 180 degrés centigrades, il suffit de quatre tuyaux de 0^m16 à 0^m17 de diamètre intérieur, sur 0^m76 à 0^m80 de longueur dans la cheminée; si la température doit être portée de 200 à 210 degrés, les tuyaux doivent avoir de 0^m20 à 0^m22 de diamètre intérieur, et de 0^m80 à 0^m85 de longueur dans la cheminée.

A l'usine de Laufen près Schaffouse, cette disposition est employée pour chauffer l'air lancé dans le haut-fourneau, par la flamme perdue des affineries; seulement on y a ajouté un cinquième tuyau, et les dimensions des tuyaux sont les plus grandes de celles indiquées ci-dessus.

L'épaisseur des tuyaux inférieurs doit être plus forte que celle des autres. Ordinairement les deux tuyaux du bas ont 15 à 20 millimètres d'épaisseur, et les deux autres 10 à 12 millimètres. On emploie même des tuyaux plus

minces, tant pour le bas que pour le haut, mais alors ils s'usent trop promptement.

La même disposition d'affinerie à réverbère peut s'appliquer au travail à l'air froid; il suffit pour cela de supprimer les tuyaux de chauffage.

Lorsqu'on veut travailler en n'employant que le vent chaud, il faut, pour diminuer la lenteur de l'affinage, rétrécir le creuset, et lui donner moins de profondeur. L'expérience a bientôt appris, dans chaque cas particulier, les limites auxquelles il convient de s'arrêter.

CHAUFFERIES A RÉVERBÈRE.

La disposition des chaufferies à réverbère est tout-à-fait la même que celle des affineries, et n'exige aucun changement dans les dimensions de creuset habituelles.

On se sert de ces foyers dans les usines où l'on n'est pas dans l'usage d'employer les feux d'affinerie à l'étirage, et dans plusieurs de celles où l'on pratique le puddlage direct de la fonte.

On dispose ces chaufferies pour travailler à l'air froid ou à l'air chaud, en chauffant l'air, dans ce dernier cas, par les moyens précédemment indiqués. La houille peut être employée dans l'un et l'autre cas, mais elle l'est plus avantageusement avec le vent chaud.

Les frais d'établissement d'une affinerie ou d'une chaufferie à réverbère peuvent varier de 900 à 1,000 fr., selon les localités.

AFFINAGE PERFECTIONNÉ.

Les principales modifications introduites dans l'affinage sont le chauffage préalable de la fonte avant la fusion, comme cela se pratique dans la méthode champenoise, et l'emploi de l'air chaud.

Le chauffage préalable s'applique, soit qu'on travaille au vent froid, soit qu'on opère au vent chaud : à cet effet, on introduit la fonte, en morceaux de poids et dimensions convenables, sur la banquette du four à réverbère, dix à quinze minutes avant la fin du précédent affinage; dès que cette opération est terminée, on fait avancer la fonte échauffée vers la tuyère, et l'on conduit le travail de l'affinage comme à l'ordinaire.

La fonte étant introduite toute rouge dans le creuset, on accélère ainsi la fusion, et il en résulte économie de temps et de combustible.

Lorsque les fontes exigent une fusion lente pour pouvoir être affinées

avec avantage, on ne doit point les chauffer, ou ne les porter qu'au rouge sombre tout au plus; sans cela leur fusion est trop rapide, et elles ne donnent que de mauvais fer. Ce sont principalement les fontes phosphoreuses qui sont dans ce cas, et comme par la disposition seule du foyer elles fondent toujours assez promptement, même en les chargeant froides, il est surtout nécessaire d'user des moyens de correction indiqués section II, page 54.

Lorsque la loupe a subi le premier cinglage, on la rapporte dans le creuset d'affinerie, comme cela se pratique ordinairement. Là, elle est réchauffée et soudée pendant la fusion de la fonte, puis on la reporte sous le marteau pour achever de l'étirer en grosse barre.

Dans plusieurs usines, comme à Laufen près Schaffouse, après avoir formé la pièce, on la porte dans le creuset d'une chaufferie à réverbère alimentée à la houille, et toute l'opération de l'étirage se termine en réchauffant dans ce fourneau.

Lorsque le fer est étiré en grosses barres, et qu'il n'a plus besoin d'être porté à la chaude soudante, on le porte sur la sole du four à réverbère, et même sur la banquette; les barres sont placées perpendiculairement à l'axe du fourneau, et l'une de leurs extrémités passe sous les portes. Parvenues au rouge blanc, on les porte successivement sous le marteau pour les réduire d'échantillon; et lorsque le premier bout est forgé, on les laisse refroidir, on les engage dans le four par l'autre bout, et on achève l'étirage.

Ce travail peut se faire, soit dans le réverbère d'une affinerie, soit dans celui d'une chaufferie.

Il est avantageux de réchauffer les pièces dans un foyer ou chaufferie séparée, parce qu'alors rien n'oblige à retarder l'affinage, et que l'on peut fabriquer beaucoup plus dans le même temps. A Laufen, l'accroissement obtenu est d'environ un tiers en sus de ce qu'on pouvait faire dans les anciens feux, et le produit d'une semaine ou de six jours de travail s'élève jusqu'à 4,000 kil. Les mêmes avantages se retrouvent dans la plupart des forges du grand-duché de Bade, où le chauffage de la fonte et du fer à étirer est en usage, avec ou sans emploi d'air chaud.

EMPLOI DE L'AIR CHAUD DANS LES AFFINERIES ET DANS DES FINERIES OU MAZERIES.

Une amélioration qui produit en général des résultats avantageux, quoiqu'elle n'ait pas également réussi dans toutes les usines où elle a été tentée, c'est l'emploi de l'air chaud dans les foyers d'affinerie. Il est possible que toutes les natures de fonte, outre les fontes phosphoreuses, ne se prêtent pas à son application, et il y a sans doute à faire à ce sujet des études analogues à celles qui ont été indiquées pour les hauts-fourneaux. (Voyez la fin de la section XI, première partie.) Mais il est du moins certain que dans le plus grand nombre de cas ce procédé produit une économie de combustible, et diminue les déchets dans quelques circonstances, lorsqu'il est appliqué à l'affinage au charbon de bois.

A l'usine de Laufen, près Schaffouse, l'appareil à vent était primitivement disposé de manière à pouvoir faire agir à volonté l'air froid ou l'air chaud; il est actuellement disposé pour le travail à l'air chaud seulement. Ce dernier est projeté dans le foyer à la température de 200 degrés centigrades. On affine des fontes blanches provenant du haut-fourneau de Plons, près Sargans (Suisse), et fabriquées, soit à l'air froid, soit à l'air chaud. Les résultats varient selon que l'on emploie l'une ou l'autre espèce de fonte.

En travaillant à l'air froid, sur les fontes produites également à l'air froid, la moindre consommation de charbon pour affiner 100 kil. de fonte était de 40 pieds cubes ($0^{mc}940$); en opérant sur les mêmes fontes à l'air chaud, mais sans réchauffer la fonte ni les barres à la flamme perdue, la consommation s'est réduite à 30 pieds cubes et demi ($0^{mc}714$), ou tout au plus aux trois quarts de ce qu'elle était précédemment.

De plus, le produit hebdomadaire, qui n'était que de 3,000 kil. à l'air froid, s'est élevé à 3,600 kil. au moins, et a souvent atteint le chiffre de 3,900 en employant l'air chauffé. Le déchet est demeuré d'ailleurs à peu près le même, ou n'a pas présenté de diminution notable.

En chauffant préalablement la fonte, et réchauffant les barres dans le four à réverbère, la consommation de charbon s'est réduite à 21 pieds cubes par 100 kil. de fer, c'est-à-dire de près de moitié de ce qu'elle était dans les anciens feux.

En travaillant à l'air chaud, sur des fontes obtenues aussi à l'air chaud,

mais sans réchauffer la fonte ni le fer par la chaleur du foyer, on a consommé jusqu'à 36 pieds cubes de charbon ($0^{mc}842$), en sorte que l'économie n'était plus que d'environ 11 pour 100. On attribue ce résultat moins avantageux à la fonte, qui est plus compacte et plus difficile à affiner que celle qui est fabriquée à l'air froid. Toutefois, ce désavantage a disparu presque entièrement en faisant usage des flammes perdues.

L'affinage s'opère sur 150 kil. à la fois, et dure environ trois heures; le déchet est moyennement de 20 pour 100, c'est-à-dire que l'affineur rend 80 de fer pour 100 de fonte; quelquefois même, il rend jusqu'à 83 et 85 de fer.

Aux forges de Königsbrunn, où l'affinage se pratique également à l'air chaud sur des fontes obtenues à l'air chauffé, on n'a pas éprouvé plus de difficulté à affiner cette dernière fonte qu'à traiter celles produites à l'air froid. L'air est porté à la température de 175 degrés centigrades, et pour produire 100 kil. de fer, on consomme 42 pieds cubes et demi de charbon de bois dur ($0^{mc}983$). On consommait à l'air froid 50 pieds cubes ($1^{mc}170$); il y a donc économie d'un peu plus de $\frac{1}{6}$. Le déchet sur la fonte a diminué un peu par le nouveau procédé.

Dans les usines du duché de Bade, on emploie l'air chauffé à la température de 100 à 120 degrés centigrades, et l'on consomme 30 à 32 pieds cubes de charbon ($0^{mc}810$ à $0^{mc}864$) par 100 kil. de fer. A l'air froid, on brûlait 40 à 48 pieds cubes de charbon ($1^{mc}080$ à $1^{mc}296$), pour obtenir le même produit. Ainsi, il y a économie moyenne d'environ 30 pour 100.

L'emploi de l'air chaud n'a pas changé sensiblement la consommation de combustible dans les forges du Bas-Rhin, bien qu'on l'emploie à la température de 100 à 125 degrés centigrades; mais on obtient ainsi 3 à 4 pour 100 de plus en fer.

Ces avantages se retrouvent à différens degrés dans toutes les usines observées, comme l'indique le tableau suivant, où l'on a réuni les données contenues dans les Archives métallurgiques de Karsten (tome XIII, 1838).

DÉSIGNATION DES USINES.	FER POUR 100 DE FONTE.		CHARBON POUR 100 DE FONTE.	
	A l'air froid.	A l'air chaud.	A l'air froid.	A l'air chaud.
Königshütte (Silésie)	77,50	79,49	169	157
Elend (Hartz). Fonte fabriquée à l'air froid	76,47	78,97	151	151
Elend (Hartz). Fonte fabriquée à l'air chaud	77,02	78,97	151	151
Rübelaand (Hartz). Fonte fabriquée à l'air froid	75,10	79,33	163	113
Tanne	75,85	77,97	189	185

Les divers résultats que l'on vient de citer après ceux de l'usine de Laufen sont obtenus par l'emploi de l'air chaud, sans faire usage des flammes perdues pour l'étirage ; et il est probable que, par l'adjonction de ce moyen, on réalisera les mêmes avantages qu'aux usines de Schaffouse.

Dans ces dernières, on emploie le vent chaud pendant toute la durée de l'affinage ; mais dans beaucoup d'autres usines, on ne s'en sert pas constamment. On opère la fusion de la fonte à l'air chaud, tandis que l'affinage proprement dit, ou la décarburation du fer et le soudage de ses molécules, est effectué à l'air froid. Cette distinction est considérée comme très importante pour le succès de l'opération.

Il résulte toutefois des observations de M. Karsten, qu'elle n'est pas rigoureusement nécessaire, pourvu que l'on fasse varier la température de l'air dans les diverses périodes de l'affinage. Voici les degrés de chaleur qu'il a constatés dans les usines ci-après :

	A Abtsgemünde.	A Königshütte.
Pendant la fusion de la fonte	205° Réaumur.	137° Réaumur.
Pendant l'affinage lent ou la macération	168	140
Pendant les soulèvemens ou l'affinage vif	172	125
Pendant l'avalage	184	123

On voit qu'avant et après l'affinage lent, les températures marchent en sens inverse dans les deux usines, ce qui semble indiquer la nécessité d'étudier chaque fonte en particulier. Les difficultés et les incertitudes qui peuvent en résulter rendent peut-être préférable l'emploi alternatif du vent chaud et du vent froid.

En travaillant entièrement à l'air chaud, l'affinage est plus long, mais les déchets ne sont pas augmentés, et sont au contraire presque toujours moindres; il y a moins de scories formées qu'à l'air froid, et elles contiennent une moindre quantité de fer : l'air chaud est donc moins oxidant et plus favorable à la réduction que l'air froid. On avait d'ailleurs déjà acquis cette preuve dans le travail du fer à la forge de maréchal; où le déchet est moindre d'*un quart* à *un tiers* de ce qu'il est en opérant au vent froid. On conçoit du reste qu'il doit en être ainsi, puisqu'à volume égal, et sous la même pression, l'air chaud contient moins d'oxigène.

Si donc on veut employer l'air chaud pendant les deux périodes de l'affinage, il faut ajouter au métal beaucoup plus de scories riches et de battitures qu'on ne le fait ordinairement, ou bien de la ferraille, afin de suppléer à la moindre quantité d'oxidule de fer produite par l'action de l'air. Ces moyens ont été employés au Harz, et l'on en a obtenu de bons résultats.

Emploi de l'air chaud dans les fineries. On a fait, aux forges de Terrenoire, près Saint-Étienne (Loire), à Königshütte (Silésie), et dans quelques usines d'Angleterre, des essais pour appliquer l'air chauffé au travail des fineries ou mazeries alimentées au coke. Ces essais n'ont eu aucun succès, et l'on a reconnu que l'opération durait beaucoup plus, consommait plus de combustible, et ne donnait qu'un fin métal mal préparé. La fusion s'opérait, du reste, plus promptement qu'à l'ordinaire, mais le creuset devenant trop chaud, on ne pouvait travailler plus de cinq à six heures de suite sans s'exposer à le détruire.

Il est à observer qu'on n'avait pas fait de distinction entre les périodes du travail, et que l'air chaud fut constamment employé. Ces essais ne sont donc pas concluans, et il serait utile de les reprendre en employant l'air froid en temps convenable.

EMPLOI DU BOIS TORRÉFIÉ DANS LES AFFINERIES ET DE LA HOUILLE DANS LES MAZERIES.

Les effets avantageux du bois torréfié ou charbon roux dans les hauts-fourneaux (voyez section XII, première partie) ont donné l'idée d'en essayer l'emploi dans les affineries, en le substituant au charbon de bois. Cet essai a été fait avec un plein succès à l'usine de Senuc (Ardennes), par M. Lorcet.

L'appareil de torréfaction est chauffé par les flammes perdues de l'affinerie; il est placé au-dessus et en arrière du foyer, d'une manière analogue à

la position de l'appareil représenté par la Pl. 33, première partie. Les caisses de carbonisation sont rangées sur une seule ligne longitudinale, et leur fond est composé d'une plaque horizontale qui repose sur les deux murs latéraux du four; la capacité des caisses est de 1^{mc}660, et malgré cette grande dimension la carbonisation s'y opère bien régulièrement.

La construction du four diffère de celle des fours de hauts-fourneaux quant à la partie inférieure : comme la chaleur développée des gaz qui s'échappent des foyers d'affinerie est relativement plus considérable que celle qui se dégage du gueulard des hauts-fourneaux, elle est non seulement plus que suffisante pour torréfier la quantité de bois nécessaire, mais elle détruirait bientôt les fonds de caisses si on ne les préservait de l'action immédiate de la flamme. A cet effet, on a construit, en dessous, une voûte en briques, percée de distance en distance d'ouvertures par lesquelles la flamme peut pénétrer et être dirigée à volonté.

Deux caisses des dimensions indiquées ci-dessus suffisent à la rigueur pour une affinerie; mais comme il est nécessaire que le charbon soit totalement refroidi avant de l'employer, afin qu'il ne s'enflamme pas sur l'âtre où on le dépose pour les besoins du service, il est bon d'établir trois caisses au moins, et mieux encore quatre. Elles sont pourvues chacune d'un étouffoir en fonte.

On charge les fours par-dessus et du côté opposé aux étouffoirs, et l'opération est conduite de la même manière que dans les appareils de hauts-fourneaux, à cela près qu'elle est poussée plus loin. L'expérience a montré que le point convenable de carbonisation était celui où le bois est réduit à la moitié de son volume, et ne contient plus de fumerons, en sorte que la carbonisation est presque complète.

L'affinage se fait comme à l'ordinaire, mais il est plus facile et plus rapide, à raison de la chaleur plus intense que produit le nouveau combustible; et le déchet de fer est un peu moindre que par l'ancien procédé.

Avec ce dernier, on consommait par tonne de fer 9 mètres cubes de charbon de bois blanc, déchets de halle compris, correspondant à 24st66 de bois; par le nouveau procédé, on ne brûle, pour le même produit, que 11 $\frac{1}{2}$ à 13 stères de bois. Ainsi l'économie est beaucoup plus considérable encore que pour les hauts-fourneaux.

La qualité du fer n'a souffert en rien de cette modification, et, sous ce rapport, les produits paraissent même être supérieurs à ceux fournis par l'ancienne méthode. Il est probable que l'hydrogène que le nouveau char-

bon contient encore en quantité considérable joue ici un rôle important, et qu'il décarbure la fonte plus complétement.

Emploi de la houille dans les fineries. On a vu précédemment l'utilité qu'il peut y avoir à établir une distinction entre les deux périodes de l'affinage au charbon de bois, en faisant alternativement usage de l'air chaud et de l'air froid. Cette même distinction produit un avantage d'une autre espèce dans les mazeries ou fineries, et permet de mélanger la houille crue au coke pendant une partie de l'opération, même en ne faisant usage que de l'air froid.

Des essais suivis, faits aux forges du Creuzot (Saône-et-Loire) et Decazeville (Aveyron), ont démontré qu'on peut mêler au coke la houille en nature, pour un tiers et même pour moitié, en n'employant ce mélange que pendant la fusion de la fonte. Il en résulte une économie de combustible, sans aucun inconvénient pour les produits. Le mazéage, après que la fusion est complétement opérée, se continue avec le coke seul.

L'air chaud appliqué pendant la première période de l'opération seulement produirait sans doute des résultats plus avantageux encore, sous le rapport de l'économie de combustible et de la célérité dans le travail; et avec la tendance générale de tous les maîtres de forges vers les améliorations, on peut espérer que cet essai ne se fera pas attendre long-temps.

FIN DE LA DEUXIÈME PARTIE DU TEXTE.

TABLE ANALYTIQUE

DES MATIÈRES

CONTENUES DANS LA DEUXIÈME PARTIE.

FABRICATION DU FER FORGÉ.

DES TROMPES.

Définition de ces appareils; énumération des parties qui les composent, *la pêchère, les arbres, la caisse* ou *cuve, l'homme* ou *la sentinelle, le burle, le bourec, le canon de bourec*, 6, 7. — *Etranguillons, aspirateurs* ou *trompillons*, 7. — Cuve à fond, ou sans fond; celle-ci est préférable, 7. — Jeu des trompes, 7. — Les cuves sont de véritables régulateurs à eau, 7. — Les trompes varient dans leur construction, leurs dimensions et leurs dispositions, 7. — Règles à suivre dans la construction des trompes, 8. — Limites de la hauteur de chute à employer, 8. — Limites du diamètre du petit bout de la buse; dimensions relatives des tuyaux porte-vent, 8, 9. Résultats donnés par l'expérience pour des trompes bien construites, 9. — Hauteurs du manomètre dans ces machines; force qu'elles utilisent, 9. — Localités où elles peuvent être établies; avantages de ces machines, 9. Des expériences hygrométriques ont prouvé que le reproche qu'on leur a fait de produire un air saturé d'eau n'est pas fondé, 9.

DES FOURNEAUX.

Fourneaux *catalans, navarrais* et *biscayens*; ils sont tous composés de quatre côtés : la *varme*, le *contre-vent*, la *rustine*, le *laiterol* ou *chio*; le fond du foyer porte le nom de *sole*; ces fourneaux n'ont pas de cheminée, 10. — Pièces de revêtement de ces diverses parties, 10. — Fourneaux catalans et navarrais; localités où ils sont en usage; leur disposition, 10. — Formes des tuyères, et nomenclature de leurs parties, 11. — Les trompes n'exigent qu'une seule buse, mais il en faut deux avec les soufflets dont l'action est intermittente, 11. — Tableau présentant toutes les données nécessaires pour la construction et la disposition des divers genres de fourneaux, 12. — Observations sur ce tableau, 12. — Quantité d'air nécessaire par minute pour les fourneaux catalans, navarrais et biscayens, 12.

DES MARTEAUX.

Marteau employé pour la fabrication des gros fers; martinet employé pour les fers de petite dimension, 13. — Ils sont montés l'un et l'autre à *bascule*, et d'une manière analogue; longueur, diamètre des manches de marteaux; bois employés à cet usage; les marteaux sont en fonte ou en fer, pesant de 300 à 350 kil.; panne en fer employée pour les marteaux en fonte, 13. — L'*enclume* doit être de même métal que la panne; on la place dans une *chabotte*, ou immédiatement sur le *stoc*; poids de l'enclume dans les deux cas, 13. — Roues hydrauliques qui mettent les marteaux en mouvement; leurs dimensions; leur vitesse; nombre de coups de marteau par minute, 14.

Montage des martinets. Longueur du manche; poids du marteau et de l'enclume; dimensions de leurs roues hydrauliques; nombre de levées du marteau par minute, 14.

TRAVAIL DU FER.

Nombre d'ouvriers nécessaires; leurs noms et leurs rôles; *fondage;* description détaillée de l'opération pendant ses diverses périodes; emploi de la *greillade;* mode convenable pour donner le vent; travail à faire, et précautions à observer par l'escolas pendant la réduction et la fusion; conditions dans lesquelles le laitier doit toujours se trouver; ses inconvéniens s'il est ou trop épais ou trop liquide; travail du *masset*, sa durée; travail à faire aussitôt le masset enlevé, 14, 15, 16. — *Martelage* ou *cinglage*. Description de l'opération, vitesses successives du marteau; division du masset en deux parties, ou *massoques;* chauffage des massoques; leur étirage; lorsqu'on veut fabriquer du petit fer, on recoupe les massoques en *massoquettes* ou *masselettes*, 16. — *Consommations et produits*. Charge en minerai grillé pour un feu, et pour chaque espèce de foyer; produits en fer et par feu des divers fourneaux à la catalane, 16, 17. — *Consommation en combustible*. Elle est en moyenne de 3 kil. pour 1 kil. de fer; observations sur le rapport qui paraît exister entre la charge en minerai grillé et la consommation en combustible, 17. — *Nature de fer*. Le fer obtenu est toujours de

SECTION II.

AFFINAGE DE LA FONTE AU CHARBON DE BOIS.

DISPOSITION DES FORGES A L'ALLEMANDE.

DES FOYERS.

DES MARTEAUX ET MARTINETS.

SECTION III.

FORGES A L'ANGLAISE. — AFFINAGE DE LA FONTE A LA HOUILLE.

DES MARTEAUX.

DES CISAILLES.

DES LAMINOIRS.

SECTION IV.

TRAVAIL DU FER.

Finage ou mazéage de la fonte.

tité de fonte passée par vingt-quatre heures dans les fineries à six et dans celles à quatre tuyères ; consommations, produits et déchets dans les anciennes fineries à trois tuyères ; résultats des fineries de Decazeville, 98, 99.— *Durée des fondages*, 99.

DU PUDDLAGE.

Définition de l'opération ; agens qui produisent l'affinage ; natures de fonte qui se prêtent plus ou moins facilement au puddlage direct, 99, 100. — Le puddlage direct ou par addition de scories, et le puddlage du fin métal constituent deux méthodes entièrement distinctes quant à la première période du travail, 100. — *Outils du puddleur*, 100, 101. — *Combustible*. Le seul employé jusqu'ici est la houille ; nature et état des houilles que l'on doit préférer pour cette opération. *Nombre d'ouvriers par four*. Leurs fonctions ; on a essayé la tourbe et l'anthracite, 101. — Nombre de *chaudes* par tournée de huit ou de douze heures, 101. — *Préparation de la sole*. Préparation de la sole en fonte ; *id.* de la sole en sable ; *id.* des soles en scories, 102. — Disposition à donner à la sole, selon que le travail se fait sur fin métal ou sur fonte, 102. — Inconvéniens et avantages de chaque espèce de sole, 102, 103. — Réparations à faire aux soles quand elles se creusent ; enlèvement et renouvellement des soles ; emploi des vieilles soles pulvérisées ; remplacement des soles en fonte, 103. — On a fait des essais de soles en calcaire et en chaux, mais il a fallu y renoncer ; résultats de ces essais relativement à la qualité du fer, 103. — *Mise en feu*. Description de l'opération ; but du chauffage préalable, 104. — *Chargement du four*. Poids à donner aux fragmens de fonte ; disposition de la charge ; chargement des fours à deux soles ; poids de la charge, 104.

Puddlage de la fonte, première période. Description détaillée du travail ; des diverses circonstances de cette période ; activité et soins nécessaires de la part du puddleur ; époque à laquelle la fonte *bout* ; durée du bouillonnement ; indices de la fin de la première période ; la fonte commence à *se sécher* ; travail à faire quand elle *prend nature* ; conditions à remplir et soins à observer pendant cette période, 105, 106.

Puddlage du fin métal, première période. Différences entre ce travail et le précédent, 106.

Puddlage, seconde période. Description du travail ; il importe de saisir le moment de former les balles ; nombre des balles selon la quantité de matière mise à l'affinage ; confection des balles ; sa durée ; durée de l'enlèvement des balles, et travail à faire après cet enlèvement, 106, 107. — Durée de l'affinage, nombre d'opérations par tournée de huit heures, 108. — Conditions d'un bon travail, et soins divers à observer, 108. — *Déchets*. Conditions pour qu'ils soient réduits au *minimum*. — *Produits et consommations*. Consommation en fin métal et en fonte blanche par vingt-quatre heures ; produits dans le même temps ; consommation de combustible pour la marche en fin métal et pour le puddlage direct, 109. — Comparaison de la consommation de combustible entre le travail au fin métal et le puddlage direct, 109. — *Puddlage au bois*. Résultats des essais tentés, 109, 110. — On a abandonné ces essais à cause de la difficulté des approvisionnemens, 110. — *Puddlage à la tourbe*. Essais tentés ; ils n'ont pas eu assez de suite pour bien constater les déchets ; conditions pour que le travail marche bien, et consommation de ce combustible, 110. — *Puddlage à l'anthracite*. Les essais tentés prouvent que ce combustible n'est pas propre au puddlage, 111.

DÉGROSSISSAGE DU FER.

Opérations diverses que l'on comprend sous cette dénomination, 111. — *Cinglage*. Description du cinglage au marteau ; transformation de la balle en *pièce* ou *lopin*. Il est essentiel que le marteau ne frappe jamais à vide ; cas où une balle se brise sous le marteau ou tombe de l'enclume ; observation sur le fer provenant des balles manquées et ré-

SECTION V.

RÉSULTATS D'EXPÉRIENCE SUR L'ENTRETIEN, LES FRAIS DE FABRICATION ET L'ORGANISATION DES FORGES A L'ANGLAISE.

chines. Usé en moulage par tonne de fer fini; graissage, et quantités d'huile ou de suif par tonne de fer fini, 122.

FRAIS DE FABRICATION.

Observation générale sur les données de cet article, 123. — *Combustible pour les machines*. Distribution de la force motrice dans l'usine de Terre-Noire; quantités de houille brûlée par chaque machine et par tonne du produit, 123. — *Fineries*. Tableau des frais et de leurs élémens par tonne de fin métal, 123. — *Puddlage et dégrossissage*. Tableau des frais et de leurs élémens par tonne de fer dégrossi, 124. — *Finissage*. Tableau des frais et de leurs élémens par tonne de fer fini et livrable, 124, 125. — Observation relative à une diminution possible des frais de dégraissage et de finissage pour une fabrication annuelle plus considérable, 125.

BASES D'ORGANISATION.

On ne compte ordinairement que sur 270 à 280 jours de travail; mode pour régler le nombre de foyers de toute espèce, la quantité de machines-outils et la force motrice; limites des déchets et proportions des produits des fineries et fours à puddler, sur lesquelles il faut se baser; quantité de fours à puddler de rechange qu'il faut avoir, selon l'importance de la fabrication; nombre de fours à réchauffer; quantité de fers à puddler que peuvent desservir un marteau cingleur et un laminoir dégrossisseur, ou un laminoir dégrossisseur sans marteau, ou enfin un marteau seul; nombre de cisailles nécessaire; produit des laminoirs sur lequel on peut se baser; nombre de laminoirs nécessaires pour le finissage du fer marchand relativement au nombre de fours à puddler, et aux échantillons des fers; produit d'un laminoir à tôle, et fours qu'il exige; nombre de jeux de laminoirs à deux ou trois cylindres nécessaires pour fabriquer tous les échantillons usuels, 125, 126, 127. — *Force motrice*. Observation générale sur la manière de l'évaluer; force motrice nécessaire pour les fineries par chaque tuyère à alimenter; force motrice pour une usine complète (non compris les fineries) employée dans diverses localités, et rapportée à une tonne de fer fini, 127, 128. — Tableau de la répartition de la force motrice à l'usine de Terre-Noire; observation sur ce tableau, 128, 129.

SECTION VI.

FABRICATION DU FER PAR PROCÉDÉS MIXTES.

Énumération des trois méthodes mixtes principales, 129.

MÉTHODE GALLOISE.

Définition de cette méthode; sa division en trois opérations, 129, 130. — *Finage*. Il s'exécute au coke dans une petite finerie à une seule tuyère; dimensions et construction du creuset; inclinaison variable de la tuyère; charge à chaque opération et produit en fin métal; durée du finage; consommation en coke; conduite du travail; nature des fontes soumises à ce traitement; quantité d'air nécessaire, 130. — *Affinage au charbon de bois*. Il s'exécute dans un foyer semblable aux affineries françaises; dimensions du creuset; position de la tuyère; conduite du travail; sa durée; forgeage des lopins; poids et vitesse du marteau; consommation en charbon; état du fer après cet affinage, 130. 131. — *Soudage et étirage*. Leur but; description du four de soudage; détails de sa construction; introduction du coke dans le foyer; chauffes dans lesquelles le fer reçoit une première chaude; conduite du travail; qualités du fer ainsi fabriqué, 131, 132, 133. — — Consommation en fonte et déchets dans ce procédé; consommation en coke pour le soudage; consommation totale en coke et en charbon de bois; on fait marcher simultanément deux fineries et deux foyers d'affinage; il faut deux fours de soudage et un second

SECTION VII.

AFFINAGE DE LA FERRAILLE.

SECTION VIII.

FABRICATION DE LA TÔLE.

SECTION IX.

FABRICATION DES CERCLES ET RUBANS.

SECTION X.

DES FENDERIES.

SECTION XI.

DES ÉTATS ET NOTES DE ROULEMENT A TENIR DANS LES FORGES.

SECTION XII.

MODIFICATIONS DANS LA DISPOSITION ET DANS LE TRAVAIL DES AFFINERIES ET DES CHAUFFERIES.

FIN DE LA TABLE DE LA DEUXIÈME PARTIE.

MÉTALLURGIE PRATIQUE
DU FER.

DEUXIÈME PARTIE.

FABRICATION DU FER.

DESCRIPTION DES PLANCHES.

AVERTISSEMENT.

Dans toutes les Planches, les cotes sont indiquées en mètres et millimètres. Les nombres à deux ou trois chiffres, tels, par exemple, que 45, 350, indiquent toujours des millimètres; les nombres de plus de trois chiffres renfermant la lettre *m*, tels que 3m250, 11m400, indiquent une certaine quantité de mètres et millimètres; enfin, les cotes qui ne se composent que d'un nombre entier de mètres sont indiquées par un ou plusieurs chiffres suivis de la lettre *m*.

En tête de chaque description, on a indiqué le rapport qui existe entre la grandeur des figures et celle des objets qu'elles représentent; ce qui donne la facilité de trouver les dimensions, en faisant usage de mesures quelconques, et sans avoir besoin de tables de réduction.

MÉTALLURGIE PRATIQUE

DU FER.

DEUXIÈME PARTIE.

DESCRIPTION DES PLANCHES.

PLANCHE 1re.

Fig. 1 et 2. — *Disposition générale de la forge catalane de Ria (Pyrénées-Orientales); échelle des* $\frac{12}{1000}$ *de la grandeur réelle.*

L'usine de Ria renferme une forge catalane complète, d'une disposition commode et bien appropriée au genre de travail qu'exige la production directe du fer forgé. Ses artifices ou machines sont mis en jeu par l'eau d'un canal de dérivation, arrivant à environ 4 mètres au-dessus du sol de l'usine, et donnant une chute de 6m65 pour la roue hydraulique, de 8m pour les *trompes* ou machines soufflantes.

La *fig.* 1 présente le plan du bâtiment et des dispositions intérieures de la forge; la *fig.* 2, une coupe de ce bâtiment suivant la ligne 1, 2 du plan, avec une élévation du marteau, de la roue hydraulique et du réservoir d'eau supérieur.

T, *fig.* 1. Cuve ou tonne des trompes dans laquelle se rassemble l'air fourni par ces machines; il entre par les *arbres* ou tuyaux *a*, *a*, et sort par le tuyau *b* pour se rendre au foyer.

F. Foyer dont l'axe ou milieu *mn* est dans le même plan vertical que l'axe du tuyau *b*. C'est dans ce foyer que s'opère la réduction du minerai et sa conversion en fer malléable. Il est placé dans l'angle du bâtiment le plus voisin des trompes, et séparé d'elles par une cage en maçonnerie G, réservée pour leur manœuvre, pour l'arrangement des conduits d'air et du foyer.

E, E, *fig.* 1 et 2. Cases dans lesquelles on met le charbon de bois. Chaque case en contient la quantité nécessaire pour une opération ou un *feu*.

A, *fig.* 1. Arbre de la roue hydraulique qui met le marteau en mouvement.

R, *fig.* 1 et 2. Roue hydraulique à aubes planes. Elle a 3m30 de diamètre extérieur, et les aubes forment une surface carrée ayant 0m32 de côté.

C, C, *fig.* 1 et 2. Tuyau carré vertical,

amenant l'eau du réservoir O sur les aubes de la roue. Ce canal forme, à partir de la hauteur de l'axe de la roue, un coursier circulaire qui emboite les aubes jusqu'au point le plus bas. L'eau arrive sur les palettes avec toute la vitesse due à la hauteur du niveau supérieur, choque les aubes avec force, et agit ensuite par son poids dans la partie courbe du coursier. Cette roue peut faire de vingt-quatre à trente tours par minute, et c'est le maximum de vitesse qu'exige la malléation des échantillons de fer que l'on fabrique à Ria.

B, *fig.* 1. Bague en fonte, calée solidement sur l'arbre de la roue, et portant quatre cames en fer forgé qui tour à tour impriment le mouvement au manche du marteau.

N, N. *Ordon* ou charpente qui supporte le marteau.

M. Marteau frappant sur une enclume du même métal, et sous lequel on étire en barres le fer obtenu dans le foyer.

P, P, *fig.* 1 et 2. Piliers en briques portant la charpente sur laquelle est établi le réservoir O. Cette charpente se compose de traverses I, I, et de longrines KL, sur lesquelles sont placées les solives qui soutiennent le fond du réservoir.

D, *fig.* 1. Canal de fuite pour l'eau qui a agi sur la roue.

H. Passage conduisant à la charbonnière, ou halle à charbon.

Foyers de forges catalanes.

Les *fig.* 3, 4, 5 et 6 représentent le foyer ou fourneau de la forge de Ria, à l'échelle de $\frac{11}{1000}$. Sa disposition d'ensemble, et par rapport aux murs contre lesquels il s'appuie, est à peu près celle que l'on suit pour tous les foyers de cette espèce; mais sa construction, très simple d'ailleurs, et ses dimensions, diffèrent à quelques égards de celles des foyers catalans proprement dits. (Voir le texte.)

Fig. 3. Plan du foyer. — *Fig.* 4. Coupe longitudinale suivant la ligne 1, 2 du plan. — *Fig.* 5. Élévation du foyer par devant. — *Fig.* 6. Coupe transversale du foyer suivant la ligne 3, 4 du plan.

M, M. Mur contre lequel est adossé le foyer, et qui le sépare des trompes ou machines soufflantes. E, *fig.* 4. Embrasure réservée dans ce mur et projetée en AB, CD, *fig.* 3.

I, I. Petit mur s'appuyant contre le mur M et formant celui des côtés *v*, *v*, *fig.* 3, 4 et 6 du foyer ou *creuset*, que l'on nomme *varme*. Dans ce mur est pratiquée une ouverture pyramidale T, *fig.* 4 et 6, qu'on nomme *trou de tuyère*, et dans laquelle on place un tuyau conique en cuivre rouge, *t*, *t*, nommé *tuyère*, servant à introduire le vent dans le foyer. La partie inférieure de la varme, jusqu'au-dessous de la tuyère, est formée de pièces de fer *m* de 0^m12 à 0^m15 d'équarrissage.

c, *fig.* 3 et 4. Côté du foyer opposé à la tuyère et que l'on nomme *contrevent*; il est également construit en pièces ou massiaux de fer *m'm'* superposés.

r, *fig.* 3, 4 et 6. Côté postérieur du foyer, nommé *rustine*. Il est construit en grès réfractaires, maçonnés avec de la terre argileuse, et s'élève en inclinant légèrement jusqu'à la hauteur du mur de varme.

l, *fig.* 3 et 6. Côté antérieur du foyer, nommé *laiterol*. Il est formé de fortes pierres de grès *d*, *e*, *fig.* 3, 5, 6, disposées en embrasure, et laissant entre elles, du côté de l'intérieur, une ouverture qu'on bouche lorsqu'on veut travailler, en y réservant un trou ou *chio* pour l'écoulement des *laitiers* et des *scories*.

f, *fig.* 4 et 6. *Sole* ou fond du four-

neau placée au niveau du sol de l'usine et formée d'une seule pierre de grès réfractaire, de 0^m25 à 0^m30 d'épaisseur.

ab, *fig.* 3, 5 et 6. Plaque en fonte recouvrant le laiterol, et soutenue du côté extérieur par une barre de fer *g*, encastrée dans les pierres *d*, *e*.

n, *n*, *fig.* 5 et 6. Pièce en fer ou en fonte encastrée dans le mur de varme, au-dessus de la plaque *ab*, pour servir d'appui aux ringards dont se sert l'ouvrier pendant l'opération.

p, *p*, *fig.* 3 et 5. Lopin de fer placé vis-à-vis le contrevent pour le même usage que la pièce *n*.

N, N, *fig.* 3 à 6. Miraillement élevé entre la rustine et le mur qui lui est parallèle. Son épaisseur, mesurée dans ce sens, au-dessus du foyer, est d'environ 1^m, et il avance de 0^m30 en dehors du contrevent. Il sert à soutenir les matières dont on emplit et recouvre le foyer, pour en obtenir le fer.

F, G, *fig.* 3, 4 et 5. Plan incliné établi en dehors du contrevent, et rejoignant le sol de l'usine du côté du marteau. Il soutient le contrevent, et sert à porter les matières dans le foyer ou à les recevoir lorsqu'on retire du creuset le masset de fer qui s'y est formé.

H. Banc à l'usage des ouvriers.

Fourneaux ou foyers navarrais.

Les *fig.* 7, 8 et 9, planche première, représentent les bas foyers employés dans les forges des Basses-Pyrénées et de la Navarre espagnole, pour la production immédiate du fer forgé à l'échelle de $\frac{15}{1000}$.

On a désigné par les mêmes lettres les parties de ces fourneaux analogues à celles du foyer catalan précédemment décrit. La *fig.* 9 montre le plan du fourneau; la *fig.* 8 est une coupe suivant la ligne 5, 6 du plan, ou par l'axe de la tuyère, et la *fig.* 7, une coupe transversale suivant la ligne 7, 8 du plan.

M, M. Mur qui sépare le foyer des trompes, et dans lequel sont pratiqués l'embrasure et le trou de tuyère.

f, *fig.* 7 et 8. *Sole* du creuset, formée d'une ou deux plaques de fer forgé de 6 à 8 centimètres d'épaisseur, ou encore d'une forte pierre de grès. Le dessus de la sole est de 0^m24 au-dessous du terrain de l'usine.

v, *fig.* 7, 8 et 9. *Varme* dont toute la partie au-dessous de la tuyère *t* est construite en pièces de fer.

r. *Rustine* formée de deux plaques de fonte de 5 centimètres d'épaisseur. Elle est placée à 1^m de distance du mur opposé, et l'espace N, qui ne s'élève pas plus haut qu'elle, forme un *âtre* pour recevoir les matières pendant le travail.

c, *fig.* 8 et 9. *Contrevent* construit en bandes de fer plates, de 27 à 30 millimètres d'épaisseur, qui s'enfoncent le long de la sole, s'inclinent en dehors et forment une surface arrondie tournant sa concavité à la tuyère. Ces bandes portent extérieurement des crochets *h*, dans lesquels passe une barre de fer courbée pour maintenir les autres dans leur position. Un empierrement et de la terre garnissent le derrière du contrevent.

l, *fig.* 7 et 9. *Laiterol* formé par une plaque de fonte de 5 centimètres d'épaisseur, inclinée en avant, et dans laquelle est pratiquée un trou *o* pour l'écoulement des laitiers. Cette plaque est soutenue par de fortes pierres *d*, *e*, laissant entre elles une espèce d'embrasure.

g, *i*, *k*, *fig.* 7. *Cave* descendant de 0^m13 au-dessous de la sole, renfermée entre les joues *d*, *e* de l'embrasure du laiterol, et destinée à recevoir les laitiers.

a, *b*, *fig.* 7 et 9. Plaque en fonte re-

couvrant la plaque et l'embrasure du laiterol, et sur laquelle l'ouvrier appuie ses ringards dans le travail.

Fig. 10, 11 et 12. Tuyère en cuivre rouge très pur, ayant la forme d'un demi-cône tronqué. La plus grande ouverture ou *pavillon* B est demi circulaire; la plus petite, ou *l'œil* A, est circulaire, et son diamètre varie de 45 à 50 millimètres. *Fig.* 10 est une coupe verticale de la tuyère; *fig.* 11, une coupe faite au-dessus du fond que l'on nomme le *plat* de la tuyère, et *fig.* 12, une vue du côté de l'œil.

PLANCHE 2.

Fig. 1 *à* 5. — *Grande trompe de l'usine de Ria* (*Pyrénées-Orientales*); *échelle de* $\frac{1}{100}$.

La *fig.* 1 représente la trompe vue de face. L'un des arbres A, la tonne ou cuve T, ainsi que les tuyaux B, D, E, conduisant le vent jusqu'au foyer C, sont coupés pour faire voir le jeu de la machine.

Fig. 2. Plan de la partie supérieure de la trompe et du réservoir R qui l'alimente d'eau.

Fig. 3. Coupe verticale de la trompe et du réservoir suivant la ligne 1, 2 du plan.

Fig. 4. Plan de la tonne ou cuve vue en dessus.

Fig. 5. Coupe verticale de la cuve suivant la ligne 3, 4 du plan, *fig.* 4.

R, R, *fig.* 1, 2 et 3. Canal ou réservoir en maçonnerie, pour amener l'eau à la partie supérieure des trompes.

V. Vanne servant à donner ou arrêter l'eau à volonté. Cette vanne est manœuvrée au moyen d'un levier à contrepoids L, monté sur une traverse à tourillons que portent les montans M, et à l'extrémité duquel est adaptée une longue tige en fer qui descend dans l'intérieur de l'usine. Des arcs-boutans N maintiennent les montans dans la position verticale.

S, S, *fig.* 2. Barrage en forte planche, placé en aval de la vanne, et destiné à maintenir les eaux à une hauteur constante de 22 centimètres dans la partie supérieure du canal. Ce barrage est soutenu par deux piquets Q, *fig.* 2 et 3, s'appuyant contre un fort madrier P, P, formant passage.

F, F, *fig.* 2 et 3. Conduits horizontaux en planches, dont le fond est au même niveau que celui du réservoir, et servant à amener l'eau dans les arbres.

A, A, *fig.* 1 et 3. Arbres en sapin. Chacun d'eux est composé de deux parties dans le sens de la longueur, réunies et fortement serrées au moyen de huit frettes en fer feuillard. Ces deux parties sont creusées de manière à présenter, après leur réunion, deux portions de cônes tronqués; l'une G formant une espèce d'entonnoir vers le haut de l'arbre, l'autre K formant tout le reste de la capacité intérieure de l'arbre au-dessous de l'entonnoir, et ayant également sa plus petite ouverture en bas.

e, e, fig. 1, 2 et 3. Plus petite section de l'entonnoir, que l'on nomme *étranguillon*, parce qu'elle sert à resserrer la veine fluide qui descend dans l'arbre. Son diamètre est de 16 centimètres, et sa distance, au-dessous du fond des conduits F, de 65 centimètres.

a, a, fig. 1 et 3. Ouvertures obliques,

au nombre de quatre, dont la surface supérieure aboutit au-dessous de l'étranguillon ; elles servent à l'introduction de l'air dans l'arbre, et portent le nom d'*aspirateurs*.

K, *fig.* 1 et 3. Corps de l'arbre, dont la capacité conique intérieure a 26 centimètres de diamètre au-dessous de l'étranguillon, et 20 centimètres à la base.

a', *fig.* 1. Aspirateur unique placé vers la moitié de la longueur totale de l'arbre.

T, *fig.* 1, 4 et 5. Tonne ou cuve de la trompe, dans le couvercle de laquelle s'emboitent exactement les bouts inférieurs des deux arbres A, A.

t, *t*, *fig.* 1 et 5. *Tablier* placé sous les deux arbres et soutenu vers les deux tiers de la hauteur de la tonne, par deux taquets et un support droit *s*. C'est sur ce tablier que l'eau vient se briser au sortir des arbres, pour abandonner ensuite l'air qu'elle entraine dans son mouvement.

c, *c*. Niveau de l'eau dont la hauteur varie dans la cuve suivant le degré de pression qu'exerce l'air qui y est renfermé.

f, *f*, *fig.* 1, 4 et 5. Tuyau recourbé construit en planches, dont l'orifice extérieur est de 64 centimètres au-dessus de l'orifice intérieur. C'est par ce tuyau qu'en vertu de la pression de l'air sur la surface *c*, *c*, l'eau s'écoule, et s'échappe ensuite par la voûte X pratiquée sous le sol de l'usine.

B, *fig.* 1, 4 et 5. Tuyau que l'on nomme *homme* ou *sentinelle*, donnant issue à l'air comprimé dans la tonne.

D, *fig.* 1. Bout de tuyau adapté à l'extrémité supérieure du précédent, et que l'on nomme *burle*.

E. Bout de conduite en cuir, nommée *bourec*. Elle est fixée sur le burle par un collier à vis, et s'adapte de l'autre bout à une buse en tôle *b*, que l'on nomme *canon de bourec*.

d. Tuyau conique en cuivre rouge, que l'on nomme *tuyère*. Ce tuyau est logé dans la paroi du foyer *c*, que l'on nomme *varme*, reçoit la buse, et sert à donner une direction convenable au vent lancé dans le foyer.

H, *fig.* 4 et 5. Tampon couvrant une ouverture ou trou d'homme, qui permet de descendre dans la tonne. Ce tampon est tenu fermé au moyen d'une traverse I et de coins engagés sous des étriers en fer fixés au couvercle.

Fig. 6 à 9. Détails sur échelle double (aux $\frac{4}{100}$) de la tête d'un arbre, indiquant l'entonnoir, l'étranguillon et les aspirateurs supérieurs (*fig.* 6 et 7), et de la partie d'arbre portant l'aspirateur *a'*, *fig.* 8 et 9.

Fig. 10. Élévation de la vanne V et coupe des conduits F, F en avant des montans. V', *fig.* 11. Coupe de la vanne vue par côté.

Fig. 12, 13 et 14. Disposition de la tonne de la petite trompe des forges de Ria, analogue à celle qui est communément employée dans les Alpes (échelle de $\frac{1}{100}$).

Les arbres, la tonne et le tablier sont disposés comme dans la grande trompe ; l'homme, ou sentinelle B, est un tuyau en fer-blanc de 0m10 de diamètre. L'eau sort de la tonne par une ouverture rectangulaire *a*, *d*, *fig.* 13, et ponctuée en *a*, *b*, *c*, *d*, *fig.* 12; mais au lieu d'un tuyau de dégorgement, on a placé devant l'ouverture une espèce de caisse découverte, et l'eau s'échappe par-dessus le côté DD.

Le fond de cette caisse prolonge au dehors le fond de la tonne. Les côtés ou joues C, C sont fixés aux douves, et portent à leur partie antérieure une rainure verticale dans laquelle s'engagent les

planches D, D qui ferment le devant. Par cette disposition, on peut faire varier la hauteur de la colonne d'eau extérieure selon le besoin.

Fig. 15. *Trompe à tonne sans fond*, employée principalement dans le Dauphiné. La tonne T est entièrement ouverte par le bas, et pose sur des chantiers *d*, *d* scellés sur le fond d'une petite fosse revêtue de planches ou de maçonnerie. La hauteur des chantiers varie de 0^m10 à 0^m20 ; celle de la fosse, ou plutôt de l'écoulement *f*, *f*, est déterminée de manière que la nappe *ee* soit distante de la nappe *cc* d'une quantité proportionnée au maximum de pression d'air dont on ait besoin. Cette nappe *cc* doit elle-même être élevée d'au moins 0^m10 au-dessus des chantiers, afin que dans ses oscillations l'air ne puisse s'échapper par le dessous de la tonne.

PLANCHE 3.

Marteau à cingler de la forge de Ria (Pyrénées-Orientales), à l'échelle de $\frac{1}{100}$ pour les ensembles, et de $\frac{6}{100}$ pour les détails.

Les dispositions des marteaux à cingler dans les forges catalanes ne diffèrent pas essentiellement entre elles, et sont en général simples et économiques, tout en offrant beaucoup de solidité. Sous ces divers rapports, le marteau de Ria peut être présenté comme un type, et on a cru devoir le choisir de préférence à ceux qui, par leurs dispositions et par leur construction, se rapprochent davantage des gros martinets des forges à l'allemande, que nous décrirons plus loin.

La *fig.* 1 est un plan d'une partie de l'arbre de la roue hydraulique motrice, et du marteau avec son *ordon* ou charpente de support vus en dessus.

La *fig.* 2 est une coupe longitudinale suivant la ligne 1, 2 du plan.

Fig. 3. Élévation latérale du marteau et de son ordon.

Fig. 4. Élévation antérieure suivant la ligne 3, 4 du plan, en supposant le manche du marteau enlevé.

Fig. 5. Coupe transversale passant par la ligne 5, 6 du plan, ou par l'axe de rotation du marteau, en ne supposant en place que les seules parties de l'ordon.

A, A, *fig.* 1, 2 et 4. Arbre de la roue hydraulique, de 0^m58 d'équarrissage, et arrondi aux extrémités pour recevoir de fortes frettes en fer. Chacune d'elles porte un tourillon *t*, également en fer forgé et de 0^m09 de diamètre.

B, B. Bague en fonte solidement callée sur l'arbre, au moyen de coins de bois, et portant quatre cames C.

D, D, *fig.* 1, 2 et 3. Manche de marteau. Il est en bois de hêtre non équarri et seulement écorcé. Sa longueur totale est de 4^m45, et son diamètre moyen de 0^m38.

H, *fig.* 1, 2 et 4. *Boque* ou *hurasse*. C'est une espèce d'anneau en fonte, portant des tourillons, autour desquels s'exécute le mouvement du marteau. Il est placé à peu près au tiers de la longueur du manche du côté des cames, et fixé solidement au moyen de coins de fer *c*, *c'*, aplatis en forme de spatule et portant une tête recourbée. Le coin supérieur *c'*,

plus long que les autres, et maintenu par un crampon *d* dans lequel il glisse, sert à recaler au besoin la bogue, sans qu'il soit nécessaire de toucher aux autres coins.

La bogue, une fois fixée, doit être invariable dans sa position, c'est-à-dire n'avoir qu'un mouvement de rotation autour de son axe. Cette condition est remplie au moyen de diverses pièces de bois de chêne dont l'ensemble forme ce qu'on nomme l'*ordon* du marteau, composé ainsi qu'il suit :

M, M', *fig.* 1 à 5. *Montans* de l'ordon. Ce sont de fortes pièces de 0,40 d'épaisseur, sur 0m60 à 0m70 de largeur et 4m environ de longueur. Elles sont placées verticalement dans une excavation de 3m de profondeur au-dessous du sol de l'usine, et de manière que leurs faces intérieures soient parallèles à la ligne qui passe par le milieu des cames, et distantes de 0m76 de cette ligne. L'écartement des montans est maintenu en bas et un peu au-dessous du sol par des boulons *z*, *z*, *fig.* 2 et 5, de 0m05 d'équarrissage. L'intérieur et l'extérieur sont ensuite garnis d'un blocage en grosses pierres très serrées, portant sur les boulons inférieurs, et venant s'arraser un peu au-dessus des boulons supérieurs. Le tout est garni de terre bien damée, et couronné sur le pourtour extérieur de quartiers de roche qui achèvent de consolider la masse.

k, *k*. Crochets en fer de 65 millimètres d'équarrissage, encastrés de toute leur épaisseur dans les faces antérieures et postérieures des montans. Ils ont environ 2m de longueur, forment à leur partie inférieure une équerre dont la petite branche, longue de 16 à 20 centimètres, se loge dans le montant, et sont arrêtés solidement par de forts crampons en fer.

N, N. Traverses mobiles placées sous les crochets qui les arrêtent dans le sens vertical. Des entailles faites pour loger la tête des crochets arrêtent aussi ces pièces dans le sens horizontal. La traverse antérieure a trois échancrures : une au milieu pour le jeu du manche du marteau, et une de chaque côté pour recevoir des coins. La traverse postérieure n'a que les échancrures latérales et dans le même but.

L, L, *fig.* 2, 4 et 5. Semelles solidement établies entre les montans et sur des traverses L' noyées dans le blocage intérieur, *fig.* 2.

K', K'. Plateaux reposant sur les semelles, et dont l'épaisseur varie selon le besoin.

K, K. Plateaux qui reçoivent les crapaudines U qui portent les tourillons de la bogue.

K", K". Plateaux superposés aux précédens. Entre ces pièces et les traverses N, on chasse des coins G, de manière que la bogue ne puisse bouger dans le sens vertical.

O, O, *fig.* 1 et 4. Madriers appliqués contre les faces intérieures des montans.

P, P, *fig.* 1 à 4. Piquets taillés un peu en coins et que l'on enfonce entre les madriers O et les plateaux K, K', K". Ce dernier système sert à placer le manche du marteau dans la direction voulue, et empêche tout mouvement latéral de la bogue.

La pression exercée sur les semelles suffit pour empêcher le mouvement dans le sens du manche.

W, *fig.* 1, 2 et 3. *Marteau* en fonte dont l'œil est traversé par le tenon du manche. Il est appuyé contre l'épaulement du tenon dont la coupe est verticale, et calé au moyen de clefs à talon *e*, *f*, et d'un coin *g*. Un autre coin *h*, s'appuyant contre une cheville en fer *i*, im-

plantée dans le manche, maintient le serrage opéré par le coin *g*.

Pour que le marteau ne puisse se décaler ou quitter sa position verticale en se portant en avant, une cheville en fer *j*, de 5 centimètres de diamètre, traverse le tenon du manche, se loge dans une encoche cylindrique faite dans le marteau, et le presse contre l'épaulement du tenon.

p, *fig.* 2 et 3. *Panne* en fer forgé, assemblée à queue dans le bout du marteau.

E. *Enclume* également en fer forgé.

F, *fig.* 2. *Chabotte* en fonte dans laquelle est logée l'enclume, en l'entourant par trois côtés seulement. L'enclume fait saillie par derrière, et peut être ainsi facilement retirée au moyen d'une pince en fer.

F'. Gros bloc de pierre dure, creusée pour recevoir en totalité la chabotte, laquelle est fixée dans son logement par des cales en bois lardées de coins de fer et garnies de mastic de limaille de fer. Ce bloc repose lui-même sur un fond très solide, en sorte que le choc du marteau ne produit aucun ébranlement dans le terrain.

I, I, *fig.* 1 et 2. Pièce de queue en chêne vert pour recevoir la pression des cames; elle est encastrée en talus dans le bout du manche, afin de ne pouvoir dévier latéralement.

a, *a*. Bride à crochets pour maintenir la pièce I, et dont les crochets sont retenus par une cheville *b* qui traverse le manche. Un clou, placé contre la bride du côté des cames, empêche la pièce de queue de reculer.

XX, *fig.* 2. Plaque en forte tôle, un peu bombée et reposant sur une grosse pierre Y. Cette plaque, choquée par le manche dans le jeu du marteau, agit comme ressort, et le renvoie avec d'autant plus de force et de vitesse que l'action des cames est plus rapide.

Du côté du moteur, le tourillon de l'arbre A n'est supporté et n'a besoin de l'être que par une *empoise* ordinaire, aucun effort ne tendant à le soulever; mais du côté opposé, les cames ayant à vaincre la résistance du marteau, il ne suffit pas que le tourillon repose sur une empoise fixe, il faut encore l'empêcher de se soulever. A cet effet, après avoir fait, à partir du montant postérieur M', *fig.* 1 et 3, une excavation d'environ 2^m de profondeur sur 3^{m}50 de longueur dans le sens perpendiculaire à l'arbre, on y pose horizontalement une forte semelle de 3^m de longueur que l'on assemble à tenon avec le montant. Cette semelle porte une large et longue mortaise, dans laquelle s'assemble, par un tenon à queue d'hironde, une pièce oblique T, qu'on assujettit solidement en chassant un coin dans l'excédant du vide de la mortaise. Alors on charge la semelle, et on garnit la pièce T de grosses pierres que l'on arrase de niveau à 27 ou 30 centimètres au-dessous de l'axe de la roue.

A partir de ce niveau, le montant M' porte une large rainure verticale qui s'élève jusqu'à son sommet, et la pièce T est coupée en fourchette dans le prolongement des faces de la rainure. Le reste de la disposition se fait ainsi qu'il suit :

On place sur le fond de la rainure et de la fourchette la pièce qui sert d'empoise ou chevêt au tourillon *t*. Sur cette pièce, on en met une autre S qui recouvre le tourillon, puis une seconde Q, *fig.* 1 et 3, séparée de la précédente par des cales qui lui laissent une certaine élasticité.

l, *o*, *fig.* 1 et 3, sont des brides en fer fortement clouées sur les pièces M'

et T, et qui passent, l'une par-dessus la rainure, l'autre par-dessus la fourchette.

m, n. Coins chassés entre les brides et la pièce Q, de manière à l'assujettir solidement des deux bouts et à lui laisser une légère flexibilité.

Cet assemblage élastique retient le tourillon, prévient sa fracture, se démonte et se change avec facilité.

V. Petit bassin dans lequel baigne le tourillon *t*; l'autre est arrosé par l'eau que jette la roue.

u, *fig*. 2, 3 et 4. Chenée recevant un filet d'eau du réservoir supérieur et le versant dans le bassin V. Une petite traverse *v* reposant sur la traverse postérieure N et sur un pied en fer *x*, supporte cette chenée.

y, *y*. Autre chenée qui reçoit l'eau de la précédente et la verse sur chacun des tourillons de la bogue.

La *fig*. 2 représente en ponctuée la roue hydraulique R et le canal Z par lequel arrive l'eau. Cette disposition et ce genre de construction très imparfaits sont suivis dans presque toutes les forges catalanes, et partout aussi les mêmes dimensions sont observées.

Fig. 6. Vue de face du marteau W, de sa panne en fer *p* assemblée à queue d'hironde et à coins. Coupe de l'enclume E en fer, et de la chabotte en fonte F. Le poids du marteau est d'environ 350 kil., celui de la chabotte d'environ 200.

Fig. 7. Coupe de la bague à cames B. Les cames C sont en fer et retenues dans leurs logemens par des coins en bois de chêne *r*, lardées de coins de fer.

Fig. 8, B′. Élévation de la bague à cames, montrant les logemens *s* des cames.

Fig. 9, C′. Came vue de face.

Fig. 10, H′. Élévation latérale de la bogue en fonte.

Fig. 11, H. Bogue vue de face; elle porte quatre tourillons diamétralement opposés deux à deux.

K, *fig*. 11 et 12. Partie de plateau dans laquelle est encastrée une des crapaudines en fer U qui portent la bogue. Ces crapaudines sont calées par des coins de fer. Deux doubles équerres *q*, *q* encastrées et clouées dans la pièce K, garnissent les bouts du logement des crapaudines, et servent d'épaulement aux coins.

PLANCHE 4.

Disposition générale d'une forge à l'allemande; échelle de $\frac{11}{1000}$.

Les usines de Jeand'heurs (Meuse) présentent, dans un même local, la réunion des moyens nécessaires à la fabrication des fers de gros et petits échantillons, et offrent un exemple des modifications à faire subir aux anciennes forges à l'allemande pour pouvoir y pratiquer la méthode mixte dite *champenoise*. On a donc cru devoir en retracer de préférence les dispositions, en combinant toutefois celles des deux ateliers existans, pour faire disparaître les anciens soufflets généralement abandonnés, et leur substituer les soufflets à pistons employés dans l'un de ces ateliers.

L'affinage de la fonte, pour la convertir en fer, se fait dans des fours à réverbère placés sous un hangard contigu à la forge; les loupes ou balles de fer affiné sont traînées au marteau cingleur, sous lequel elles sont converties en *pièces* ou *massiots*; enfin, les pièces

sont rechauffées à la houille dans des foyers que l'on nomme *chaufferies*, pour être étirées, soit sous le gros marteau, soit sous le martinet.

On n'a représenté ici que la forge proprement dite; on verra plus loin la disposition et la construction des fours à réverbère.

Fig. 1. Coupe longitudinale de la halle ou bâtiment de la forge, faite suivant la ligne 1, 2 du plan, *fig.* 2, avec les élévations des diverses machines employées.

Fig. 2. Plan du bâtiment et des foyers, ainsi que des machines avec les roues hydrauliques qui les mettent en mouvement, vues en dessus.

Fig. 3. Coupe de la forge suivant la ligne 3, 4 du plan, faisant voir en élévation latérale la disposition du marteau à ordon M et de sa roue hydraulique.

Fig. 4. Coupe suivant la ligne 5, 6, donnant l'élévation latérale d'un foyer et de sa cheminée.

A, A, *fig.* 2 et 4, foyers surmontés de leurs cheminées C, C, et dans lesquels sont établies des chaufferies. Les mêmes foyers peuvent recevoir des affineries, si l'on veut travailler à la méthode allemande.

B, B, *fig.* 2. Plaques en fonte placées devant le foyer, et de là dans la direction du marteau, pour y traîner les loupes ou les pièces. Lorsqu'on affine la fonte par la méthode allemande, une des plaques voisines du foyer sert de *refouloir*, c'est-à-dire qu'on y dépose la loupe au sortir du feu pour la refouler à coups de masse, afin d'en rapprocher les parties, et diminuer un peu son volume avant de la porter sous le marteau.

I, I. Ouvertures pratiquées dans le mur de la forge, près des foyers, pour jeter au-dehors les scories.

F, *fig.* 2. Réservoir ou bassin dans lequel les eaux sont rassemblées, pour être ensuite dirigées sur les roues hydrauliques. La chute ou différence entre le niveau des eaux dans le réservoir et celui des eaux inférieures est de 1m60.

Du réservoir, les eaux sont dirigées, en avant de chacune des roues hydrauliques, par des conduits en bois placés sous terre, et sont reçues, à l'extrémité de chaque conduit, dans une caisse ou huche découverte G, G′, G″, plus élevée que le niveau des eaux supérieures de 35 à 40 centimètres. Ces caisses portent, du côté des roues, un orifice de même largeur que les aubages, et dont on règle la dépense par une vanne manœuvrée de l'intérieur au moyen d'un levier ou bascule.

R, *fig.* 1, 2 et 3. Roue hydraulique de l'ordon M; elle a 3m40 de diamètre, et 1m08 de largeur intérieure entre les couronnes qui encastrent les aubes. Celles-ci ont 50 centimètres de largeur.

M, *fig.* 1, 2 et 3. *Marteau étireur* sur ordon à drôme coupé, mis en mouvement par des cames montées sur l'arbre de la roue hydraulique. Cette dernière peut faire de 18 à 19 tours par minute; et comme il y a 5 cames, le nombre de coups de marteau peut être de 90 à 95 dans le même temps.

R′, *fig.* 1 et 2. Roue hydraulique mettant en mouvement le marteau cingleur M′ et le martinet M″; elle a 3m60 de diamètre extérieur, et 1m08 de largeur entre les couronnes qui encastrent les aubes. Ces dernières sont planes, et ont 0,55 de largeur. La vitesse de la roue est de 17 à 18 tours par minute.

On voit, *fig.* 1 et 3, le canal en bois E, E, qui amène l'eau sur la roue.

M′. *Marteau cingleur* pour battre les loupes au sortir des fours d'affinage, et former les *pièces*, auxquelles on donne

la forme d'un prisme quadrangulaire de 12 à 13 centimètres de côté sur 40 à 42 de longueur. Ce marteau peut frapper 80 à 90 coups par minute.

M". *Martinet* pour fabriquer les fers de petit échantillon. A chaque révolution de l'arbre qui porte la bague à cames, il frappe 16 coups, et peut ainsi frapper jusqu'à 288 coups par minute.

R", *fig.* 1 et 2. Roue hydraulique de la machine soufflante S : elle a 3^m10 de diamètre et 0^m65 de largeur; les aubes sont planes et non encastrées entre des couronnes. On fait faire à cette roue de 9 à 10 tours par minute.

Son arbre porte une lanterne de 0^m68 de diamètre, mesuré sur la ligne de centre des fuseaux; cette lanterne fait mouvoir un hérisson de 2^m de diamètre primitif, dont l'arbre transmet le mouvement à la machine soufflante.

S, *fig.* 1 et 2. Machine soufflante à deux caisses en bois, dont les pistons font moyennement 6 levées par minute.

Les planches et descriptions suivantes donnent les détails des foyers, ainsi que des machines à percussion; on trouvera dans la première partie ceux qui se rapportent à la machine soufflante.

PLANCHE 5.

Feu d'affinerie des forges de la Bonneville (Eure); échelle de $\frac{1}{17}$.

Fig. 1. Plan de l'affinerie.

Fig. 2. Coupe verticale suivant la ligne 1, 2 du plan.

Fig. 3. Élévation par-devant, parallèlement à la ligne 3, 4 du plan.

Fig. 4. Coupe verticale suivant cette même ligne 3, 4.

A, A, *fig.* 1 à 4. *Aire* ou âtre du foyer placé sous une vaste cheminée soutenue sur le devant par des piliers en fonte D, D, placés parallèlement au mur M, M, de la forge, et reposant par-derrière sur une maçonnerie C, C, élevée contre ce mur, qui sert ordinairement de base, mais sur lequel on ne s'est pas appuyé ici, pour que le foyer occupe moins d'espace dans l'intérieur de la forge.

H, H. Forte plaque de fonte placée sur les deux piliers; H', H', plaques semblables s'appuyant d'un bout sur la pièce H, et de l'autre sur le mur C, C. Ces plaques, que l'on nomme *marâtres*, forment un cadre rectangulaire solide, sur lequel est élevée la cheminée I. Cette dernière est construite en briques, et a environ 10^m de hauteur à partir des marâtres; sa section intérieure, au sommet, est un carré d'environ 0^m80 de côté.

K, K, *fig.* 2 et 3. *Manteau* ou petit mur briqueté sur le devant de la cheminée, vis-à-vis le foyer, pour préserver les ouvriers de l'action de la chaleur, et renfermer dans la cheminée les vapeurs, ainsi que la fumée et les étincelles; il est construit sur deux bandes de fer portées d'un côté par le tasseau du pilier, et de l'autre par un étrier en fer suspendu à la marâtre.

N. Œillard ou ouverture réservée dans le mur de fond C, C, pour introduire dans le foyer les *gueuses* ou pièces de fonte à affiner.

F, *fig.* 1, 2 et 4. *Ouvrage* ou *creuset* de l'affinerie représenté en plan et en coupes; il est formé de cinq plaques de fonte ou *taques*, nommées et placées comme suit :

f, fig. 2 et 4. *Fond* ou *sole* du creuset entouré par les autres plaques, excepté celle qui ferme le devant.

v, fig. 1, 2 et 4. *Varme* portant une tablette ou console *u, u,* sur laquelle repose la tuyère *t*.

r. *Rustine* ou *haire* formant la face de derrière; *c, contrevent* opposé à la varme.

l, fig. 2 et 3. *Laiterol* ou *chio* fermant le devant du creuset; cette plaque porte une échancrure *o* à sa base, et un peu au-dessus deux trous *o', o',* de 3 centimètres de diamètre. Ces orifices se nomment aussi *chios,* et sont destinés à donner écoulement aux laitiers.

Le laiterol et la rustine sont placés verticalement; le fond incline d'environ 3 centimètres vers le contrevent, et très légèrement vers le laiterol; la varme incline à peu près de 5 centimètres à l'intérieur du creuset; enfin, le contrevent a une pente vers l'extérieur d'à peu près 3 centimètres sur la profondeur du creuset : en sorte que ce dernier est un peu évasé de ce côté. Toutes ces plaques ont 5 à 6 centimètres d'épaisseur.

d, e, fig. 2 et 3. Plaques enfoncées en terre et appuyées contre le laiterol, qu'elles maintiennent dans sa position; elles servent en même temps à porter la plaque de devant *a, b,* qui sert d'appui aux outils.

m, fig. 1 et 4. Fourchette en fer plantée dans cette plaque, et entre les fourchons de laquelle on décrasse les ringards qui ont été plongés dans le creuset et en ont rapporté du fer fondu.

g, g. Fiches en fer pour empêcher la plaque *a, b* de reculer.

La rustine et le contrevent sont calés solidement avec des pierres ou des morceaux de fonte, et garnis des terres et fraisil qui forment l'âtre du foyer.

La varme étant en place, on pose dessus deux pièces en fonte à double épaulement *n, n, fig.* 1 à 4, 12 et 13, que l'on nomme *murettes*, et on maintient le tout par une maçonnerie en briques C', C', formant une embrasure E, que l'on élève à hauteur convenable pour avoir facile accès à la tuyère *t*.

p, fig. 1 à 4. *Contrecœur* placé verticalement et reposant sur les épaulemens supérieurs des murettes.

p', p', fig. 4. Plaque de recouvrement de l'embrasure de tuyère, contre laquelle s'appuie le contrecœur; sur cette plaque *p'* on continue à élever le briquetage C', plein jusqu'au-dessous de la marâtre.

U, U, *fig.* 1, 3 et 4. Plaques de fonte entourant l'âtre, et retenant la terre et le fraisil dont il est formé.

k, fig. 1 et 4. Plaque posée près du contrevent, et sur laquelle on verse le charbon; elle repose elle-même sur d'autres pièces de fonte enterrées dans l'âtre.

h, fig. 1 et 3. Espèce de caisse à trois côtés, dont l'antérieur est un peu échancré, et servant au même usage que la plaque *k*.

q, q, fig. 1 et 2. Plaques de fonte garnissant le devant du foyer, et formant une traînée jusqu'au refouloir et au marteau.

B, B, *fig.* 1, 3 et 4. Bâche en fonte pour rafraîchir les outils qui ont servi au travail de l'affinage; S, pièce de fonte ou de fer sur laquelle ils reposent.

T, *fig.* 1 et 3. Barre d'appui à double crochet, fixée au pilier de fonte, pour recevoir les tenailles.

t, fig. 1, 2 et 4. *Tuyère* en cuivre rouge; on lui donne l'inclinaison nécessaire en penchant plus ou moins la varme vers l'intérieur du creuset. Lorsque la tuyère est placée convenablement, on la

cale solidement avec des coins, et on la garnit d'un petit briquetage affleurant la plaque de contrecœur.

t', t', *fig.* 3 et 4. Tuyaux en fer-blanc pour amener le vent de la machine soufflante à l'affinerie. Une partie de ces tuyaux est fixe, et maintenue par une console en fer *z*, *z*; elle porte un robinet *x* pour arrêter ou régler le vent à volonté. L'autre partie, qui se relie à la première au moyen d'un boyau en cuir, s'adapte à la buse *s*, *s*, dont le bout entre dans la tuyère et s'y engage jusqu'à 7 ou 8 centimètres du museau.

L, L, *fig.* 1 et 2. Jumelles ou coulottes sur lesquelles on amène les gueuses vers l'œillard N du foyer.

P. Rouleau tournant sur lui-même, dans des encoches, pour faire avancer la gueuse G dans le foyer.

G, G. *Gueuse* telle qu'elle est placée pour recevoir l'action du feu et du vent dans le creuset.

O, O, *fig.* 1 et 4. Pièce en fonte, que l'on nomme *orgue* ou *orgueil*, placée sur l'âtre, et sur laquelle l'ouvrier appuie son ringard pour soulever la gueuse et la faire avancer dans le creuset, pendant qu'un manœuvre fait tourner le rouleau P.

Q, Q, *fig.* 2, 14 et 15. Porte pour fermer l'œillard; elle est échancrée pour laisser passer la gueuse.

Fig. 5. Élévation latérale de la tuyère; *fig.* 6, coupe suivant son axe; *fig.* 7, plan; *fig.* 8, tuyère vue du côté du museau. L'œil est à peu près demi-circulaire, et a 5 centimètres de largeur sur 3 de hauteur; l'échelle est une fois et demie celle des autres figures.

Fig. 9. Élévation par-devant de la varme *v*; *fig.* 10, plan de la même pièce, et *fig.* 11, élévation latérale, faisant voir la tablette d'appui *u*.

Fig. 12, vue par côté, et *fig.* 13, vue par-devant d'une murette *n*.

Fig. 14 et 15. Porte Q de l'œillard N.

Fig. 16 et 17. Orgue ou orgueil vu de face et par bout.

Fig. 18. *Loupe* ou *Renard* tel qu'il sort du creuset pour le porter sur le refouloir.

Fig. 19. Tenaille à cingler avec laquelle on saisit le renard, après qu'il a été refoulé, pour le porter sous le marteau; là, on lui donne la forme d'un prisme, que l'on nomme *pièce* ou *masset*.

PLANCHE 6.

Chaufferie des forges de Jeand'heurs (Meuse); échelle de $\frac{1}{10}$.

Fig. 1. Plan de la chaufferie pris au-dessus du foyer, ou suivant la ligne 1, 2, *fig.* 2.

Fig. 2. Coupe suivant la ligne 3, 4 du plan.

Fig. 3. Coupe suivant la ligne 5, 6 de la *fig.* 4.

Fig. 4. Coupe horizontale suivant la ligne 7, 8, *fig.* 3.

Fig. 5. Élévation de la chaufferie par-devant, ou parallèlement à la ligne 5, 6, *fig.* 4.

La construction et la disposition du foyer, ainsi que de la cheminée, sont tout-à-fait analogues à celles de l'affinerie décrite Planche 5; seulement la chaufferie n'a pas besoin d'être fermée dans le fond, et peut être placée dans l'intérieur des bâtimens sans s'appuyer à un mur. C'est le cas dont on donne ici

un exemple; du reste, il est en général plus avantageux de disposer l'aire d'une chaufferie comme celle d'une affinerie, parce qu'on peut alors y établir l'une ou l'autre, selon le besoin.

Pour mieux faire voir la ressemblance qui existe entre elles, on a désigné, dans la description ci-après, les mêmes parties par les mêmes lettres.

A, A, *fig.* 1, 2 et 4. *Aire* comprise entre deux piliers de fonte D, D, et un mur C, C, s'élevant à la même hauteur que ces piliers.

H, H, H', H', *fig.* 2, 3 et 5. *Marâtres* en fonte portées par le mur C, C, et par les piliers, et sur lesquelles est montée la cheminée I, I. Cette cheminée est élevée d'environ 6^m au-dessus des marâtres.

G, G, *fig.* 2 et 5. *Marâtre* du manteau soutenue obliquement par une pièce de fonte *q* encastrée dans le mur C, et par un tasseau attenant au pilier de devant.

K, K. *Manteau* occupant ici toute la largeur du devant du foyer dans le même but qu'aux affineries.

F, *fig.* 1 à 5. *Feu* ou *foyer* de chaufferie; il se compose aussi d'une *sole f*, d'une *varme v*, d'une *rustine r*, d'un *contrevent c*, et d'un *laiterol l*, ayant un trou de *chio o*. La sole incline un peu sur le devant; les autres taques sont verticales, à l'exception de la varme, qui incline légèrement vers le mur C. L'épaisseur de ces plaques est de 5 à 6 centimètres.

d, e, fig. 1, 2 et 4. Plaques soutenant le laiterol, et portant la plaque de devant *a, b, fig.* 1, 2 et 5.

p, fig. 1, 2, 3 et 5. Plaque de contrecœur reposant sur la varme, et ayant la même inclinaison.

t, fig. 2, 3 et 4. Tuyère en fer battu placée dans une petite embrasure, et murée avec quelques briques, de manière à plonger très peu dans le foyer.

g, g, fig. 1, 2, 3 et 5. Étrier en fer suspendu au contrecœur; *h, h*, chenets également en fer s'appuyant sur l'étrier et sur une plaque O placée à côté du contrevent, ou sur le contrevent lui-même, qui est entaillé pour la recevoir.

P, P, *fig.* 1 et 5. *Pièces* ou lopins de fer ayant déjà passé sous le marteau, et qu'on place sur les chenets pour commencer à les échauffer, et en même temps concentrer la chaleur dans le foyer en le recouvrant en partie.

A Jeand'heurs, le foyer est alimenté au charbon de terre menu, dans lequel on chauffe les pièces au blanc pour les étirer.

On apporte les pièces sur la plaque O, d'où on les pousse sur les chenets.

L, M, N, *fig.* 1 et 5. Plaques horizontales et verticales formant un emplacement pour le charbon de terre.

t, fig. 6, 7, 8 et 9. Tuyère en coupe longitudinale, en élévation du côté du museau et du pavillon, et en coupe horizontale. La tuyère reçoit deux buses de soufflets en bois agissant alternativement; mais, avec les caisses soufflantes à vent continu, une seule buse suffit. L'échelle de ces figures est les $\frac{1}{4}$ de l'échelle du plan.

Fig. 10, T. Tenaille à chauffer les pièces. Les mors, étant dans le feu avec la pièce, doivent être très forts pour pouvoir résister; les branches sont méplates, afin de ne pas fléchir lorsqu'on les serre au moyen du double crochet S, que l'on nomme *clame* ou *S*. Les pièces étant chauffées, on les retire sur la plaque de devant pour changer la tenaille.

Fig. 11, T'. Tenaille à coquille avec laquelle on saisit les pièces chauffées pour les porter sous le marteau et les

étirer; les branches sont arrondies, et on les serre au moyen d'une *clame* ou d'un anneau *s*.

P, *fig.* 12. *Pièce* ou *masset* résultant du cinglage de la loupe.

E, *fig.* 13. *Encrenée*, forme que prend la pièce au premier étirage.

M, *fig.* 14. *Maquette* ou produit du second étirage.

B, B, *fig.* 15. *Bande* ou *barre* résultant de l'étirage complet de la maquette.

Il faut une chaude pour chaque opération.

Les chaufferies, dans les forges à l'allemande, ne sont employées ordinairement que pour le travail des martinets. A Jeand'heurs, où l'on fabrique le fer par la méthode mixte dite *champenoise*, les chaufferies servent également pour l'étirage au gros marteau et au martinet.

PLANCHE 7.

Marteau à soulèvement sur ordon à drôme coupé; échelle de $\frac{1}{10}$.

La disposition d'ordon, représentée par cette planche, appartient à l'usine de Jeand'heurs (Meuse), où plusieurs améliorations ont été introduites dans ce système de marteaux. La position horizontale de l'arbre de la roue hydraulique qui permet à cette dernière de tourner dans un plan vertical, est une des plus importantes à signaler, parce que, dans beaucoup d'usines, on trouve des ordons, même récemment construits, dont l'arbre et la roue sont inclinés, ce qui nuit au bon emploi de la force motrice. Du reste, les ordons à drôme coupé de Jeand'heurs n'offrant pas, dans quelques détails, les dispositions les plus avantageuses et les plus récentes, on a cru devoir les emprunter à d'autres usines et les faire entrer dans la construction que l'on donne ici.

La *fig.* 1re représente une élévation latérale du marteau et de l'ordon.

La *fig.* 2 est une élévation prise en avant du marteau.

La *fig.* 3, une coupe longitudinale suivant la ligne 1, 2, 3, 4 du plan, *fig.* 4.

La *fig.* 4, un plan de la charpente de l'ordon, en supposant cette charpente découverte en totalité.

A, A, *fig.* 1 à 4. *Grande attache* assemblée verticalement à tenon et mortaise sur une forte pièce de charpente O, O, placée sur le bord du bief de la roue hydraulique.

B, B, *fig.* 1 et 2. *Bras buttans* ou *bras boutans* de la grande attache, assemblés à tenon et embrèvement dans les faces latérales de la grande attache ainsi que dans la pièce O, O.

B′, *fig.* 1. *Bras boutant* d'arrière, passant par-dessus la roue hydraulique, et s'assemblant sur une forte semelle enterrée. Cette semelle se nomme *la taupe*, d'où vient aussi à la pièce B′ le nom de *bras boutant de la taupe*.

C, C, *fig.* 1 à 4. *Court-carreau*, fixé sur une pièce K, K, parallèlement à la grande attache, et garni d'une frette *f, f*.

D, D, *fig.* 1 et 2. Le *drôme*, assemblé d'un bout à tenon et mortaise dans la grande attache, et recevant l'extrémité supérieure du court carreau qui s'y assemble à tenon et embrèvement. Ces assemblages sont consolidés sur deux faces opposées par des brides doubles en fer, de 3 centimètres d'équarrissage, serrées fortement au moyen de clavettes à talons et de contre-clavettes qui traversent

l'épaisseur du bois. En outre, un gousset G, *fig.* 1 et 2, maintient encore le drôme dans sa position. Une forte frette $f' f'$ empêche la tête du drôme de se fendre.

F, *fig.* 1, 3 et 4. *Culard*, servant à butter le court carreau contre la grande attache. Ses extrémités sont encastrées d'une part dans la mortaise $p' q' r' s'$ de la grande attache, et d'autre part dans le court carreau.

J, J, *fig.* 1, 2 et 3. *Jambe sur l'arbre;* J', J' *fig.* 1 et 2, *jambe sur la main.* Ces pièces servent à porter les tourillons d'un anneau en fonte H, *fig.* 2, que l'on nomme *bogue*, *hus* ou *hurasse*, et qui reçoit la queue du manche M' du marteau. Le haut des jambes, de forme pyramidale, se loge dans de larges entailles faites dans le drôme et y est maintenu latéralement par des coins de bois *h*, *h*. On serre les jambes contre le drôme au moyen d'une bride en fer *e*, *e* et d'un coin *g*. Le bas des jambes, également taillé en pyramide, se loge dans les *mortiers* ou *pots de jambe* I, I', *fig.* 3 et 4, et y sont maintenus par des coins *l*, *l*, *fig.* 1, 2 et 3.

V, V, *fig.* 1 et 2, *clef serrante* ou *tirante*. Elle traverse des mortaises V', *fig.* 3, pratiquées dans les jambes, et reçoit une autre clef *i* qui fait appliquer ces dernières au fond des entailles du drôme.

t, *fig.* 1 et 2, *tabarin* ou espèce de cale fortement serrée entre la clef tirante et la face inférieure du drôme. Cette pièce sert avec la clef tirante à contenir les jambes dans les mortiers, et à préserver le drôme des contrecoups occasionnés par le choc du marteau.

A', A', *fig.* 1, 2 et 3, arbre de la roue hydraulique R'. Il est horizontal et perpendiculaire au plan des jambes. Son tourillon antérieur *z* tourne dans une empoise en fonte, fixée au moyen de coins de bois sur un support en fonte Y, *fig.* 2 et 4. Ce support est placé contre l'enclume E et repose sur un fort madrier appuyé lui-même sur la charpente de fondation.

r, *r*, *fig.* 1, 2 et 4. *bague à cames* en fonte, fixée très solidement sur le bout de l'arbre par des cales en bois *y*, *y*. Elle porte cinq parties saillantes que l'on nomme *poucets* et contre lesquelles sont fixées des pièces *o*, *o*, en orme ou en charme, et que l'on nomme *sabots*. Les cames formées par la réunion des poucets et des sabots, saisissant l'arbre M' du marteau, le soulèvent tour à tour.

La vitesse de la roue pouvant être de 16 à 17 révolutions par minute, le marteau peut frapper 80 à 85 coups dans le même temps.

E, *fig.* 1, 2 et 4. *Enclume* en fonte. Elle est placée obliquement du côté de la jambe sur la main, afin que les cames ne puissent saisir les barres, et que ces dernières ne rencontrent pas le court carreau lorsqu'elles sont longues.

M, *fig.* 1 et 2, et ponctué, *fig.* 4. *Marteau* en fonte dont la panne doit coïncider parfaitement dans toute sa longueur avec la table de l'enclume.

M', *fig.* 1 et 2, et ponctué, *fig.* 4. Manche du marteau en bois de charme ou de hêtre. Sa queue est fixée dans l'anneau de la hurasse au moyen de coins de bois lardés de cales en fer, et sa partie antérieure porte un tenon qui entre dans l'œil du marteau et y est assujetti par des clefs en bois et en fer. Une broche *q* traverse le tenon et sert à appuyer le marteau contre son épaulement.

n, *fig.* 1. *Braie* ou lien de fer qui protége le manche à l'endroit où il est saisi par les cames, et diminue le frottement.

La *fig.* 4 fait voir que le manche du marteau n'est pas parallèle à l'arbre de la roue hydraulique, et qu'il s'incline vers lui afin de se présenter à l'action des cames.

R, R, *fig.* 1 et 2, *ressort* ou *rabat*, pièce contre laquelle vient frapper le marteau à chaque *levée*, et dont l'élasticité accélère la chute du marteau en augmentant considérablement la force du coup due à la hauteur de cette chute. Cette pièce, qui fatigue beaucoup, doit être faite en hêtre, en charme ou en frêne.

Le rabat passe d'abord dans une espèce de mortaise c' c' d' d' que l'on nomme *chapelle*, *fig.* 1, 2 et 3, pratiquée dans le court carreau, et y est fixée par des clefs *k*, *k*. Les *fig.* 3 et 4 font voir la mortaise k' k' des clefs, et la chapelle c' c' d' d' projetée en c' c', *fig.* 4.

L'extrémité du rabat s'engage dans une mortaise p' q' r' s', *fig.* 3 et 4, de la grande attache, et y est maintenue dans une position invariable au moyen d'une cale *p* placée sur le culard F, *fig.* 1, et de coins enfoncés en dessus. Des frettes *a a* entourent l'attache au-dessus et au-dessous de cette mortaise.

Le rabat est élégi vers la tête, afin d'avoir plus d'élasticité.

X, X, billots de bois placés derrière l'enclume et dans la même direction. Ils portent une plaque en fonte à rebords *x*, *x* pour soutenir et guider au besoin les barres de fer.

Z, *fig.* 2 et 3, bâche en fonte contenant de l'eau pour rafraîchir les outils.

Charpente de fondations. Le rabat étant continuellement frappé par le marteau, les secousses qu'il communique au système qu'on vient de décrire auraient bientôt détruit les assemblages, si le court carreau n'était maintenu très solidement par le pied. C'est dans ce but principalement qu'est établie la charpente qu'on va décrire.

O, O, *fig.* 3 et 4, *traversine* ou *sablière* sur le milieu de laquelle est assemblée la grande attache au moyen d'un fort tenon et des brides en fer *b b*, et qui reçoit les pieds des bras boutans latéraux dans les mortaises embrevées *u*, *u*.

N, N, *croisée* dans laquelle sont creusés les *mortiers* ou *pots de jambes* I, I'. Chaque mortier est garni de deux bandes de fer *v*, *v*, encastrées dans le bois, et maintenues par des frettes *s*, *s* entourant la croisée.

U, U, *liens* maintenant l'écartement entre la croisée et la traversine. Ils sont assemblés dans le milieu de l'épaisseur de chaque pièce par un tenon à queue d'aronde serré au moyen d'un coin.

O', O', *sous-traversine*; N', N', *sous-croisée*; K, K, *pied d'écrevisse*, ainsi nommé à cause de la forme de la pièce analogue dans les anciens ordons. Cette pièce est assemblée à queue d'aronde entre les traversines, et à entailles entre les croisées. Elle porte le court carreau qui y est assemblé par un fort tenon, et par deux brides à clavettes *d*, *d*.

L, L, *longrines* assemblées entre les traversines et les croisées, de la même manière que le pied d'écrevisse. On voit que les croisées et traversines font ici l'office de moises, et que les pièces de dessus sont serrées avec celles de dessous par 4 brides *d*, *d* garnies de clavettes et contre-clavettes *c*, *c*.

Les traversines reposent sur un mur épais, formant l'une des joues du coursier de la roue hydraulique.

P, P, *traverses* assemblées à entailles sur les longrines dont elles maintiennent l'écartement et diminuent les vi-

brations. Elles sont fixées par des boulons à clavettes.

T, T, *têtière* dans laquelle les bouts des longrines sont assemblés à tenons en queue d'aronde serrés par des coins.

Q, Q, *lien* placé entre les longrines du milieu, et près du billot de l'enclume.

Toute cette charpente en fortes pièces de chêne, établie sur un terrain bien consolidé, maintient par son étendue la stabilité du système; et par son poids considérable, ainsi que par une légère élasticité, elle résiste aux chocs qui tendent à soulever le court carreau.

S, S, *stoc* ou *billot* de l'enclume, emboîté par un châssis inférieur E', E', F', F', placé sur un terrain très solide, ou, à défaut, sur un bon grillage. Il est maintenu dans la position verticale par un second châssis C' C' D' D', placé sous les longrines, et qui l'embrasse en le serrant fortement. Le dessus du stoc est creusé pour recevoir l'enclume E, qui est maintenue dans sa *chambre* au moyen de coins. Le stoc peut être fait d'une ou plusieurs pièces, mais, dans tous les cas, il doit être garni de fortes frettes pour l'empêcher de fendre. Il doit toujours être indépendant de toutes les autres parties, afin de ne pas les ébranler par le choc qu'il reçoit du marteau.

En posant la charpente ou l'*ordon* d'un marteau, il faut avoir soin d'entourer toutes les pièces de scories de forges concassées, afin qu'elles se conservent mieux. Souvent on charge la têtière de grosses pierres ou de morceaux de fonte, pour augmenter la pesée sur le court carreau. L'ordon monté, on recouvre les longrines de scories et de terre bien battue jusqu'à hauteur de la croisée et de la traversine.

PLANCHE 8.

Suite de l'ordon à drôme coupé.

Fig. 1. Coupe de l'ordon en avant de la croisée et des jambes.

A, *grande attache*, masquée en partie par le gousset G et par le court carreau C C.

c', c', d', d', *chapelle* pratiquée dans le court carreau, pour le passage du rabat.

B, B, bras boutans d'attache.

D. Coupe du drôme, dans l'entaille où se logent les jambes.

J, J, *jambe sur l'arbre*, garnie de frettes m' m', au-dessus et au-dessous de la boîte de crapaudine. Elle est un peu échancrée entre ces deux frettes, pour le passage de l'arbre A' de la roue hydraulique R'.

J', J', *jambe sur la main* garnie également de deux frettes *m*, *m*, entre lesquelles est une entaille pour recevoir une crapaudine et des coins.

e, *e*, bride en fer qui, au moyen du coin *g*, serre le haut des jambes dans les entailles du drôme. *l*, *l*, coins pour serrer le bas des jambes dans les pots dont la profondeur est indiquée par une ligne ponctuée.

H, *hus* ou *hurasse* en fonte, dans l'anneau de laquelle est fixée la queue du manche au moyen de coins de bois et de fer. Elle est munie de deux pivots, dont l'un, *t*, nommé *court bouton*, est porté par la crapaudine de la jambe sur l'arbre, et l'autre, *t'*, nommé *grande branche*, par la crapaudine de la jambe sur la main.

N, N, *croisée* entourée de fortes frettes de chaque côté des pots de jambes ou mortiers.

U, U, bouts des liens à tenons en queue d'aronde, qui assemblent la croisée avec la traversine; *u*, *u*, coins pour serrer les tenons dans leurs mortaises.

K, *pied d'écrevisse* vu par bout. Il est, ainsi que les *longrines* L, L, assemblé à entaille entre la croisée N et la *sous-croisée* N′, N′; ces deux dernières pièces sont fortement serrées au moyen de brides *d*, *d*, et de clavettes à talons avec contre-clavettes *c*, *c*.

Détails de l'ordon à drôme coupé à l'échelle de $\frac{1}{10}$.

Fig. 2. Élévation intérieure de la partie de la jambe sur l'arbre J, qui reçoit la crapaudine fixe. *Fig.* 3, coupe de cette jambe suivant la ligne 1, 2.

b′, *b′*, bandes de fer ou plaques de fonte encastrées de champ pour former les côtés de la boîte ou mortaise de la crapaudine. Le fond de la boîte est garni d'une plaque de tôle *f*, *g*; et des frettes *m′*, *m′*, servent en même temps à relier la jambe en dessus et en dessous de la mortaise, et à maintenir les bandes *b′*, *b′*.

l′. Crapaudine en fonte portant deux *yeux* ou cavités pour recevoir les pivots de la hurasse. Lorsque l'œil supérieur est usé, on se sert de l'autre en tournant la crapaudine de haut en bas. Cette crapaudine est fixée à demeure dans sa boite au moyen de coins supérieurs *n*, et de coins latéraux.

Fig. 4. Élévation par-devant de la jambe sur la main J′. *Fig.* 5, coupe suivant la ligne 3, 4. *Fig.* 6, élévation intérieure de la même jambe, et *fig.* 7, élévation extérieure.

Dans cette jambe, et entre les frettes *m*, *m*, est faite une entaille dont la profondeur est à peu près égale au tiers de l'épaisseur de la jambe. Dans cette entaille sont placés : 1°. une cale en chêne *b*, *fig.* 4 et 6, appuyée dans le fond de l'entaille, et reposant sur la frette inférieure; 2°. la crapaudine à oreilles et en fonte *a*, *a*, *fig.* 4 à 7, dont le corps repose sur la cale *b*. Cette crapaudine porte également deux yeux, *fig.* 5 et 6, qui servent l'un après l'autre; 3°. un chapeau *c*, *fig.* 4, 6 et 7, placé sur la crapaudine, et retenu par deux petits talons relevés que porte cette dernière; 4°. une clef de serrage *e*, appuyant contre le haut de l'entaille. Pour retenir la crapaudine dans le sens latéral, on se sert de coins *d*, *fig.* 4 à 7, placés d'un côté ou de l'autre, selon l'œil dont on veut faire usage, ou des deux côtés, si la distance entre les deux oreilles l'exige.

a, *fig.* 8, plan de la crapaudine à oreilles. *a′*, *fig.* 9, coupe transversale suivant la ligne 7, 8.

M, *fig.* 10, élévation par-devant du marteau; *o*, son œil; *p*, sa panne oblique, afin de pouvoir coïncider avec la table de l'enclume.

Fig. 11. Marteau représenté la panne en dessus, pour faire mieux voir sa forme.

Fig. 12. Élévation latérale du marteau.

Fig. 13. Coupe suivant la ligne 5, 6, *fig.* 12.

Marteau sur ordon à jambes en fonte de l'usine de Jeand'heurs (Meuse); échelle de $\frac{1}{10}$.

Ce marteau n'est employé à l'usine de Jeand'heurs qu'à cingler les loupes ou balles au sortir des fours à réverbère, dans lesquels on a fait l'affinage de la fonte; mais en changeant la tête du marteau, il peut aussi bien servir à l'étirage, ainsi que cela se pratique à l'usine d'Audincourt.

La construction de l'ordon est beaucoup plus simple, exige moins d'emplacement, offre plus de facilité pour le service, présente une grande solidité, et, sous tous ces rapports, mérite la préférence sur les ordons tout en charpente.

Fig. 14. Élévation latérale du marteau et de l'arbre de la roue hydraulique.

Fig. 15. Plan de l'arbre et du marteau, et coupe des jambes en fonte, passant par le centre des tourillons *t*, *fig.* 14.

Fig. 16. Élévation du marteau parderrière ou du côté du cours d'eau.

Fig. 17. Coupe verticale passant par l'axe des tourillons *t*, ou par la ligne 9, 10, *fig.* 14.

Fig. 20. Coupe horizontale passant par la ligne 11, 12, *fig.* 17.

P, *fig.* 14 et 15, *marteau* en fonte à panne carrée.

Q, *enclume* en fonte, dont la queue s'emboite dans une *chabotte* O de même métal.

U, *manche* en hêtre, dont le tenon et la queue sont fixés au moyen de coins, l'un dans l'œil du marteau, l'autre dans la *hurasse* *h*, *fig.* 15, sur les pivots de laquelle s'exécute le mouvement de rotation du marteau.

n, *braye* ou plaque de frottement des cames.

A, *fig.* 14, 15, 17 et 20, *jambe sur la main*, en fonte, portant deux consoles parallèles *g*, *g'*.

A', *jambe sur l'arbre*, également en fonte.

B, B, *fig.* 14 et 17, *chapiteau* en fonte, servant à relier les jambes par le haut. Il est maintenu par une clef en fer *a'a'*, qui traverse les tenons des jambes. L'écartement de ces dernières est maintenu, à la partie inférieure, par les pièces de bois EE, *fig.* 17 et 20, ainsi que par la charpente de l'ordon. Les deux jambes sont fixées sur ces diverses pièces de bois par de fortes clefs en fonte ou en fer *aa*, *cc*, *dd*; des cales en bois *b*, *b*, sont placées entre les clefs et les jambes, afin d'éviter les ruptures que pourrait, sans cela, occasioner le choc du marteau. Ces cales ne sont nécessaires que pour les clefs supérieures.

ff, *fig.* 14, 15 et 20, *support mobile* en fonte, reposant sur un coussinet en bois *ii*, de hauteur convenable, et calé entre les consoles *gg'*. Dans ce support est pratiquée une longue mortaise, traversée par une cheville en fer *d'*. Il peut tourner autour de cette cheville en même temps que recevoir un mouvement de translation. Ce mouvement lui est donné par des coins *ll*, *fig.* 14 et 15, agissant sur la languette *f'*, et qui servent en même temps à le maintenir invariablement. Deux tirans à tête *pp*, traversant les consoles, servent à maintenir la partie antérieure du support, et à lui donner la position convenable, au moyen de platines *mm* et d'une clavette à talons *k*.

La *fig*. 1, Pl. 9, indique clairement cette disposition.

s, *s'*, *fig*. 20, boites des tourillons de la hurasse, l'une fixée dans la jambe sur l'arbre, l'autre dans le support mobile *ff*.

R, R. *fig*. 14, et ponctué *fig*. 15, *ressort* ou *rabat du marteau*. C C, *fig*. 14, 15 et 20, *chapelle* en fonte dans laquelle est logée sa queue. D D, *tasseau* en bois sur lequel il repose. Ce tasseau est relié à la charpente inférieure par deux brides en fer *e e*, et la clavette à talons *e'*.

F, *fig*. 15 et 17, *anneau carré* à tourillons, dans lequel passe le rabat. Les tourillons *t t* servent à incliner cette pièce selon le besoin, et ils sont maintenus à la hauteur convenable par des crapaudines de support en bois *b' b'*, et par des crapaudines de pression en fonte *c' c'*, garnies de cales en bois.

B', B', *fig*. 14 et 15, arbre de la roue hydraulique, de laquelle les dimensions sont indiquées par la description de la Pl. 4. V X, axe de cet arbre; *z*, tourillon en fonte; Y, support de tourillon.

r r, bague en fonte portant les cames qui soulèvent le manche du marteau.

Observation. L'arbre de la roue hydraulique portant une bague à came pour un martinet, comme on le voit Pl. 4, on n'a pu en rapprocher davantage la cage formée par les jambes. Mais une aussi grande distance n'est pas nécessaire, et il y a avantage à la diminuer autant que possible, pour que le manche du marteau soit saisi moins obliquement par les cames.

Fig. 16. H, H, *sous-traversine* reposant sur la maçonnerie; G, G, *traversine*.

L, L, *longrines* vues par bout, encastrées entre les traversines, qui sont fortement assemblées au moyen de doubles brides *m' m'* et de clavettes à talons *n' n'*.

E, E, *semelle* vue par le bout, sur laquelle repose la chapelle C, dont le patin est recouvert par le tasseau D.

e e, brides du tasseau, traversées à leur bout inférieur par des clavettes, et maintenues à la partie supérieure par une clavette à talons *e' e'*.

v x, boulon à clavette assemblant le patin de la chapelle C, la semelle E et la traversine G G.

Fig. 21. B B, *chapiteau* vu en dessus; A, A', tenons des jambes; *a' a'*, clef d'assemblage en fer.

Fig. 22. Coupe des jambes A et A' suivant la ligne 13, 14, *fig*. 17; F, anneau carré du rabat vu en dessus; *c' c'*, crapaudines de pression placées sur les tourillons *t*, *t* de l'anneau.

Fig. 23. Élévation par-devant de l'anneau F, indiquant les tourillons *t t* et leurs embases.

Fig. 18 et 19. *c'*, *c'*, élévation et plan sur échelle double d'une crapaudine de pression.

Fig. 24 et 25. Élévation et plan du support mobile *f*, *f*, sur échelle double; *f'*, languette faisant corps avec le support; *d' d'*, mortaise allongée; *s' s'*, boîte de tourillon.

PLANCHE 9.

Suite du marteau sur ordon à jambes en fonte.

Fig. 1. Élévation du marteau par-devant.

Fig. 2. Coupe longitudinale suivant la ligne 1, 2, *fig.* 3.

Fig. 3. Plan de la charpente de l'ordon mise à découvert.

P, marteau; Q, enclume à queue; O, chabotte. Toutes ces pièces sont en fonte.

U, manche du marteau garni de sa braye *n*, et fixé dans la hurasse *h*.

A, jambe sur la main; A', jambe sur l'arbre, réunies par le chapiteau B et la clef *a' a'*.

a, c, d, clefs en fonte de fer, *fig.* 2 et 3, pour assembler les jambes avec la charpente de l'ordon.

R, rabat; F, anneau carré à tourillons; C, C, chapelle en fonte; D, D, tasseau en bois. (Voir la précédente description.)

La charpente de l'ordon, *fig.* 2 et 3, se compose ainsi qu'il suit :

H, H, *sous-traversine* reposant sur la maçonnerie; G, G, *traversine.* Entre ces deux pièces, viennent s'assembler, à queue et à coins, deux fortes longrines L L, dont les tenons opposés sont engagés de la même manière dans les mortaises de la *traversine de tête* T, T. De doubles brides *m m,* serrées par des clavettes à talons *n,* assemblent les traversines.

Entre les longrines L, L, sont placées deux fortes entre-toises MM, NN, assemblées à tenons en queue dans les longrines.

K, K, en coupe *fig.* 2, et ponctué *fig.* 3, *court carreau* assemblé à tenons dans l'entre-toise MM, et profondément encastré entre les traversines.

Sur le court carreau repose la semelle E, E, assez ordinairement composée de deux pièces, et entaillée pour le passage des jambes A et A'. Sur la semelle reposent le patin de la chapelle CC et le tasseau DD, et le tout est relié avec les pièces inférieures par les brides à clavettes *ee,* et par le bouton à clavette *v x.* Lorsque la semelle est en deux pièces, comme cela a lieu ici, on les réunit par des boulons.

S S, *stoc* composé de quatre pièces assemblées par boulons, recoupées à pans, et garnies d'une forte frette à leur partie supérieure.

La chabotte est posée sur le stoc, et maintenue latéralement par des fiches en fer.

E' E', F' F', cadre dans lequel s'emboîte le stoc, et qui repose sur un terrain fortement battu et bien nivelé.

V X, ligne d'axe de l'arbre de la roue hydraulique.

Fig. 4. *Jambe sur l'arbre* A' A'; *fig.* 5, coupe suivant 3,4; *fig.* 6, *jambe sur la main*; *fig.* 7, coupe suivant 5,6.

a' a', trous pratiqués dans les tenons pour la clavette de serrage; *j, j,* évidemens à jour. Dans les faces extérieures sont des dégagemens ou tableaux renfoncés, comme l'indiquent les coupes A et A', *fig.* 3.

a a, b b, épaulemens de clavettes; *q q, fig.* 4 et 5, oreille dans laquelle est fixée, par des cales en bois, la boite *s,* qui reçoit le court bouton de la hurasse.

g g, g' g', fig. 6 et 7, consoles dans

lesquelles sont pratiqués des passages *p*, pour les tirans qui servent à régler la position du support mobile; *d*, passage de la cheville qui traverse ce même support.

Fig. 8 et 9. Élévation et plan de la chapelle. Le patin CC, *fig.* 9, est fait en fourchettes, portant chacune une échancrure qui permet au patin de se loger entre les jambes. *ee*, passage de bride d'assemblage; *x*, *x*, passage de boulon.

Fig. 10. Élévation, *fig.* 11, plan de la hurasse. *a*, court bouton; *b*, grande branche. *Fig.* 12, coupe suivant la ligne 7, 8, *fig.* 10.

Fig. 13 et 14. Braye *nn* vue de côté et en plan. *Fig.* 16, élévation du marteau par-devant. *Fig.* 15, coupe du marteau passant par l'œil, suivant la ligne 9, 10, *fig.* 16.

Fig. 17. Élévation de l'enclume, dont la queue est une pyramide tronquée à huit pans.

Fig. 18. Enclume vue par-dessous.

Fig. 19. Coupe de la chabotte suivant la ligne 11, 12 du plan, *fig.* 20. Le renfoncement forme une pyramide tronquée quadrangulaire, ce qui permet de tourner l'enclume avec plus de facilité, et d'introduire des cales en bois dans les angles pour la serrer.

Fig. 21. Arbre de roue hydraulique vu par bout, du côté du marteau. *Fig.* 22, coupe suivant la ligne 13, 14. B′, corps de l'arbre; *z*, tourillon; *r*, *r*, *r*, bague en fonte portant des poucets *p*, *p*, et fixée sur l'arbre au moyen de cales *y*, *y*; *oo*, sabots en bois dur qui, réunis aux poucets, forment les cames.

Fig. 23. *o*, *o′*, sabot vu par bout et de face. Il est traversé par un clou rivé pour l'empêcher de fendre.

Fig. 24. *y*, *y′*, cale vue par bout et de face.

Fig. 25 et 26. Autre mode d'assemblage des sabots avec les poucets, en élévation et en plan. *b*, *b*, bague en fonte armée de poucets *p*; *o*, sabot fixé contre le poucet au moyen d'une bride en fer *aa*, et d'un coin en bois chassé de force.

Ces divers détails d'arbre et de bague à cames sont applicables aux deux systèmes de marteaux à soulèvement.

PLANCHE 10.

Martinet des forges de Jeand'heurs (Meuse); échelle de $\frac{1}{100}$.

Fig. 1. Coupe du martinet faite parallèlement au manche du marteau, suivant la ligne 5, 6, *fig.* 2.

Fig. 2. Plan du martinet et coupe des poteaux montans, suivant la ligne 1, 2, *fig.* 1.

Fig. 3. Élévation du martinet en avant des poteaux.

Fig. 4. Élévation par-devant du marteau et de l'enclume.

Fig. 5. Coupe du stoc S suivant la ligne 3, 4, *fig.* 1.

A, A, *fig.* 1 à 3, *poteaux montans* du martinet, assemblés sur des *semelles* D, D, et maintenus par des *bras boutans* C, C.

B, B; B′, B′, *moises* entaillées, servant à réunir les poteaux, à la partie supérieure et à fleur de sol.

E, E, traversines fixées sur les bouts

des semelles, pour en maintenir l'écartement, et les charger d'une partie du poids des matériaux qui entourent la charpente.

S, *stoc*, *fig.* 1 et 5; G, G; G', G', cadre inférieur du stoc; H, H; H', H', cadre supérieur embrassant le stoc.

Toute cette charpente, qui constitue l'ordon du martinet, est en chêne, établie sur un terrain solide, et garnie de maçonnerie ou de crasses de forges, mélangées de terre, et bien battues.

A', *fig.* 1 à 3, arbre de la roue hydraulique, sur lequel est montée une bague en fonte *b*, garnie de 16 cames en fer forgé. Cette bague est fixée sur l'arbre au moyen de cales en bois *a*, *a*. Près du tourillon de l'intérieur *t*, sont fixés un ou plusieurs gros anneaux en fonte I, pour charger l'arbre de ce côté, et empêcher qu'il ne soit soulevé par la pression des cames.

M', manche du martinet, dont la queue est garnie d'une plaque de frottement des cames *i*, que l'on nomme *braye* ou *touche*, d'une *frette* *l* et d'un *anneau de battement* *k*. Le manche est en hêtre, et les garnitures sont en fer.

f, *fig.* 1, pièce de ressort en bois, et garnie d'une plaque en fonte ou en fer *g*, *fig.* 1 et 2, pour recevoir le battement du talon de l'anneau *k*.

h, *hurasse* en fonte dans laquelle le manche est fixé au moyen de cales en bois. Les boutons ou pivots de la hurasse tournent dans des crapaudines en fonte *o*, *o*, *fig.* 2 et 3, lesquelles sont élevées à la hauteur convenable au moyen de hausses en bois *q*, et fixées par des coins *r*, qui s'engagent sous les moises B, entaillées à cet effet.

M, marteau en fonte fortement calé sur la tête du manche.

E, enclume également en fonte, et maintenue sur le stoc par des fiches en fer.

m, *m*, *fig.* 1 et 2, chantiers en bois portant une plaque à rebords *dd*, placée derrière l'enclume pour supporter les barres de fer.

n, *n*, *fig.* 1, 2 et 4, chantiers portant une autre plaque unie *ee*, placée latéralement à l'enclume dans le même but.

p, *fig.* 2 et 4, tige en fer traversant la plaque *e* du côté le plus bas de l'enclume, pour y retenir les barres.

Fig. 6. Marteau vu de côté; *fig.* 7, marteau vu de face.

Fig. 8. Coupe de la bague à cames *b* suivant un diamètre. *Fig.* 9, coupe de la bague suivant la ligne 7, 8 de la *fig.* 8; *c*, *c*, cames en fer serrées dans les mortaises *c'*, *c'* au moyen de coins en bois lardés de lames de fer.

Ce martinet peut frapper jusqu'à 288 coups par minute. (Voir la description de la Pl. 4.)

Martinet des forges de la Bonneville (Eure); échelle de $\frac{1}{100}$.

Fig. 10. Coupe longitudinale parallèlement au manche du marteau.

Fig. 11. Plan du martinet, le manche du marteau étant ôté.

Fig. 12. Élévation du martinet en avant des poteaux.

L'ordon de ce martinet présente une disposition tout-à-fait analogue à celle précédemment décrite, et les mêmes lettres désignent les pièces semblables dans les deux constructions. Les principales différences entre cette machine et

la précédente consistent dans la forme du marteau et dans la manière de supporter la hurasse.

Le marteau M, ainsi que l'enclume E, *fig.* 10 et 11, sont en fonte; mais au lieu d'avoir leur *panne* ou surface de percussion de forme rectangulaire, elle a la forme d'un T, de manière que le forgeron peut, sans changer de place, étirer ou planer ses barres de fer. Le plan *fig.* 11 indique cette forme pour l'enclume.

La hurasse *h*, au lieu d'être portée par des crapaudines, est placée entre deux jambes en fonte J, J, *fig.* 11 et 12. Ces jambes se logent par le bas dans des mortaises ou pots creusés dans les moises inférieures B', rapprochées à cet effet, et traversent les moises supérieures. Des clavettes en fer *r*, *r*, serrant contre ces moises, empêchent les jambes de se soulever, et on les rapproche convenablement au moyen de coins de bois *d*, *e*, s'appuyant contre les poteaux. Des cales en fer *e'*, *e'*, placées à l'intérieur, les arrêtent entièrement dans leur position. Ce système est plus simple, plus solide et plus commode que le précédent; mais pour être complétement bon, il faut que les jambes portent chacune un logement pour recevoir des crapaudines, que l'on peut alors changer au besoin.

L'enclume E, au lieu de porter immédiatement sur le stoc, se loge dans une chabotte en fonte N, *fig.* 10 et 11, qui, par sa masse, accroît les effets de la percussion.

L'arbre A' de la roue hydraulique est garni de bandes de fer *m*, *m*, *fig.* 10 et 11, encastrées de toute leur épaisseur, et maintenues par de forts liens à clavettes *f*, *f*.

La panne de l'enclume étant horizontale, l'ouvrier ne pourrait travailler commodément debout. Il s'assied sur un banc mobile H, *fig.* 11 et 12, formé d'une planche suspendue par un crochet à une tige en fer *p*, et tournant autour d'un piton fixé dans l'un des poteaux. Il présente ainsi, sans se déranger, le fer entre les parties larges ou étroites des pannes.

Fig. 13. Vue latérale du marteau M; *fig.* 14, vue par-devant.

Fig. 15. Vue de l'enclume E par-devant; *fig.* 16, vue par côté. Dans le corps de l'enclume est réservé un trou carré *o*, pour pouvoir la retirer plus commodément de la chabotte.

Fig. 17. *Touche* ou *braye* *i*, *i*, vue de côté; *fig.* 18, même pièce vue en plan.

Fig. 19. Vue de face de l'anneau de battement *k*; *fig.* 20, coupe du même anneau suivant la ligne 9, 10.

Ce martinet, ainsi que le précédent, ne peuvent servir que pour fabriquer des fers carrés ou plats.

PLANCHE 11.

Martinet des forges de Châtillon-sur-Seine (Côte-d'Or); échelle de $\frac{1}{100}$.

Ce martinet est disposé principalement pour fabriquer de petits fers ronds; mais il peut aussi servir à fabriquer des fers plats ou carrés, par le simple changement des pannes qui s'adaptent au marteau et à l'enclume. Sa construction diffère entièrement de celle des martinets précédemment décrits, non seulement

par le mode de fondation, mais encore par les parties extérieures, qui sont en fonte.

Fig. 1. Plan du martinet. *Fig.* 2, coupe longitudinale parallèlement au manche du marteau, et à élévation du bout de l'arbre à came. *Fig.* 3, élévation par-devant de la cage en fonte du martinet.

A, A', *fig.* 1 à 3, montans de la cage, avec leurs semelles B, B, de même forme, et réunis en dessus par une archivolte; en bas, par une traverse *r, s.* Toutes ces parties sont coulées en une seule pièce.

C, C; C', C', cadre supérieur en charpente, sur lequel sont boulonnées les semelles B B de la cage.

D, D; D', D', cadre inférieur de même forme que le précédent, avec lequel il est relié par des potelets F, F. De longs boulons *b', b'*, consolident cet assemblage. Cette charpente est posée sur un fond de maçonnerie, et maçonnée sur tout son pourtour entre les potelets, afin de donner plus de solidité à cette fondation.

Le stoc S, *fig.* 1 et 2, se compose de quatre pièces de bois, assemblées entre elles par des tenons chevillés *d d* et par des boulons. Il est embrassé, en haut et en bas, par des cadres H H', G G'.

A', arbre en bois de la roue hydraulique, portant la bague à cames *b*, qui y est fixée par des cales *a*. Cette bague est en fonte, et garnie de 18 cames *c* en fer. Ces cames ont 0^{m}03 de saillie, 0^{m}03 d'épaisseur, et 0^{m}08 de largeur.

M', manche de marteau en hêtre, garni de sa touche, d'une frette *l* et de l'anneau *k*, dont le talon frappe sur la plaque de ressort *g*. Cette plaque est encastrée dans une pièce de bois *ff*, qui repose sur le cadre supérieur de la fondation.

h, fig. 1 à 3, hurasse en fonte, dont les boutons jouent dans des crapaudines en fonte *o, o'*.

N, chabotte en fonte posée sur le stoc S, et maintenue par des tasseaux en fonte à oreilles *e, e*, clouées sur le stoc.

E, enclume en fonte, dont la queue se loge dans la chambre de la chabotte.

M, marteau en fer pouvant frapper jusqu'à 300 coups par minute.

Détails sur échelle double. — *Fig.* 4. Vue par-devant du montant A. *Fig.* 5, vue intérieure de la même partie. B, B, semelle; *c c*, consoles pour arc-bouter le montant; *r, s*, traverse reliant les deux semelles; *b b*, nervure surmontant la traverse.

d d, hausse en bois à talons embrassant la largeur du montant, et dans laquelle est encastrée la crapaudine *o*; *e, e*, cales et coins en bois pour serrer la crapaudine.

Fig. 6. Vue par-devant. *Fig.* 7, vue intérieure du montant A'; *o'*, crapaudine mobile en fonte et à deux yeux. Elle est placée sur une hausse *f*, et pressée par les cales et coins *g*. Cette crapaudine, représentée séparément *fig.* 16 et 17, a deux talons au moyen desquels, et de coins *h, i*, on la fait mouvoir latéralement, et on la fixe à volonté.

Fig. 8. Vue de l'enclume du côté du montant A. *Fig.* 9, plan de l'enclume; N, chabotte qui reçoit la queue de l'enclume. Elle est percée de part en part d'un trou rectangulaire *u*, dans lequel on chasse un coin lorsqu'on veut ôter l'enclume; *m*, support en fer planté dans le sol; *n, n*, guidon passant dans l'œil du support, s'appuyant sur la chabotte, et se relevant près de la coquille

p, pour maintenir les barres de fer que l'on bat.

Fig. 10. Marteau en fer, dont la panne porte une entaille en queue-d'aronde pour recevoir, soit une panne plate, soit une panne à cannelure ou coquille, lorsqu'on veut fabriquer des fers ronds. *Fig.* 11, marteau vu de face.

Fig. 12 et 13. Enclume vue de côté et de face. Elle est également entaillée pour recevoir une panne ou une coquille, comme on le voit en *q*, *fig.* 8.

Fig. 14. Élévation. *Fig.* 15, plan de la hurasse en fonte.

Fig. 16. Élévation. *Fig.* 17, plan de la crapaudine mobile *o'*.

Fig. 18. Vue de face. *Fig.* 19, vue latérale de la crapaudine fixe *o*.

Fig. 20. Vue de côté de la braye ou touche. *Fig.* 21, vue par bout.

Détails sur échelle quadruple. — *Fig.* 22. *p*, vue par bout d'une coquille de marteau pour fabriquer du fer rond. *Fig.* 23. *p'*, vue de côté de la même pièce. *Fig.* 24, vue par bout. *Fig.* 25, vue de côté de la coquille fixée sur l'enclume.

PLANCHE 12.

Disposition générale de la forge à l'anglaise de Decazeville (Aveyron); échelle de $\frac{1}{1000}$.

L'usine de Decazeville, la plus grande, la plus belle et la plus complète de toutes celles qui ont été créées en France pour fabriquer le fer, se compose de six hauts-fourneaux contigus, en avant desquels est placée une vaste fonderie, et dont les machines soufflantes sont mises en activité par deux machines à vapeur de la force de soixante chevaux chacune; de trois feux d'affinerie pour préparer la fonte à sa conversion en fer, lesquels reçoivent le vent des souffleries des fourneaux; et d'un grand bâtiment de forge renfermant les appareils et les machines nécessaires à la fabrication de toute espèce de fer.

C'est de ce dernier bâtiment que nous nous occuperons ici, notre but étant seulement de faire connaître la disposition générale d'une forge à l'anglaise.

Fig. 1. Plan de la forge. *Fig.* 2, coupe longitudinale suivant la ligne 1, 2 du plan. *Fig.* 3, coupe transversale suivant la ligne 3, 4 des *fig.* 1 ou 2. *Fig.* 4, élévation transversale suivant la ligne 5, 6 du plan.

A, A, corps de bâtiment ou halle de la forge.

B, B', bâtimens des machines à vapeur, renfermés dans la halle.

H, H, appentis ou galerie entourant la halle.

V, V', *fig.* 1 et 3, machines à vapeur dont chacune fait mouvoir un système de machines, et a une force de 60 chevaux.

Z, Z, fourneaux des chaudières à vapeur avec leur cheminée commune X. Chaque machine à vapeur est alimentée par trois chaudières.

P, P, fours à puddler placés sous la partie de galerie qui entoure le système mû par la machine V.

R, R, fours à réchauffer, à tôle et de fenderie, placés sous une partie de galerie voisine du système mis en mouvement par la machine V'.

T, T, tours pour tourner les cylindres de laminoirs.

Le reste de la galerie est réservé pour recevoir les fers à mesure de fabrication, les dresser, les botteler, etc,

Description du système mû par la machine à vapeur V. — La machine V, *fig.* 3, au moyen du balancier *q, r* et de la bielle *r, m,* transmet le mouvement à une forte manivelle *m.* Sur l'arbre qui porte cette manivelle, *fig.* 1, 2 et 3, est montée une bague en fonte portant des cames qui soulèvent le gros marteau cingleur M, et une grande roue d'engrenage *a.* Cette roue engrène avec un pignon *b*, dont l'arbre porte un volant *v* et un second pignon *c.* Celui-ci donne le mouvement à une roue *d,* qui fait marcher deux paires de laminoirs dégrossisseurs D, D. En *p* sont les pignons correspondant à chaque ligne horizontale des cylindres qui composent ces laminoirs.

e, engrenage recevant le mouvement de la roue *d,* et le communiquant, au moyen d'une manivelle et de renvois de mouvement souterrains, à une grande cisaille C.

L'arbre du pignon *b*, au moyen de pignons *p'*, donne le mouvement à un espatard ou laminoir à cercle E.

Une roue *f*, placée sur le même arbre, engrène avec une roue *g*, dont l'arbre *g h,* passant sous le sol, porte une roue *h* à son autre extrémité. Cette roue donne le mouvement à une roue supérieure qui fait mouvoir un train de petits laminoirs ou *petit mill, l.*

Un pignon *i*, recevant le mouvement de la roue motrice du petit mill, fait tourner un autre train de petits laminoirs *l'*.

Description du système mû par la machine V'. — Le mouvement de la machine est transmis comme précédemment à un bouton *m'*, fixé sur un bras d'une roue d'engrenage. Un arbre portant un pignon *b'* et une bague à came, met en mouvement le martinet M'. *a'* est une grande roue qui, au moyen du pignon *c'*, fait marcher un volant *v'*. L'arbre de ce volant porte une roue *f'*, laquelle, par les roues *g'*, *h,* fait tourner le laminoir à tôle L et ses pignons *i*, ainsi que le laminoir cannelé G, dont les pignons sont en *i'*.

Une roue placée à l'extrémité de l'arbre de l'engrenage *a'* transmet, par des renvois souterrains, le mouvement aux tours T, T.

L'arbre du volant *v'* donne le mouvement à un train de laminoirs cannelés I, I, à un espatard E' et à une fenderie F. *k* et *k'* sont les pignons de ces équipages.

L'espatard E' sert à fabriquer des petits fers en rubans, et à préparer les fers pour la fenderie.

Une roue *e'*, au moyen d'une roue inférieure et de renvois sous le sol, fait mouvoir les cisailles C' et C''.

Tout ce système, les laminoirs *l*, *l'*, et l'espatard E, servent à fabriquer les fers finis livrables au commerce. Les autres machines du premier système servent uniquement à préparer ou ébaucher les fers.

La forge de Decazeville est montée pour pouvoir fabriquer jusqu'à dix millions de kilogrammes de fer par an.

Fig. 5. *Section transversale de la forge d'Alais* (*Gard*). Les *fig.* 2 et 3 indiquent un système de charpente à grande portée, applicable à la construction des halles de forges. Mais dans les contrées dépourvues de bois de construction, et privées de communications faciles et économiques, un tel système

serait très dispendieux à établir, et il est préférable de remplacer les fermes en charpente par des fermes en maçonnerie. Tel est le mode adopté par M. Communeau, dans la construction de l'usine d'Alais, dont la disposition est d'ailleurs analogue à celle de Decazeville.

De grands arceaux ogives *a, b, c*, en briques, composent les fermes qui supportent la toiture; et dans le même plan sont les fermes à arceaux des galeries H, lesquelles servent ainsi de contre-forts aux premières. De petits contre-forts supérieurs et inférieurs C, C, donnent à tout ce système une très grande solidité.

Les arceaux des communications *d, e, f*, entre les galeries et la halle, sont également en ogives, et ceux des portes extérieures de galeries, en cintres surbaissés, ainsi qu'on le voit dans l'arrière-plan de la coupe.

PLANCHE 13.

Disposition des fineries à l'anglaise des forges de Terrenoire, près Saint-Étienne (Loire); échelle de $\frac{25}{1000}$.

Cette usine a deux *fineries* ou foyers d'affinage pour la fonte, placés dans un même bâtiment, de 7m de largeur, sur 12m de longueur intérieurement. L'une de ces fineries, celle représentée dans le plan, *fig.* 1, a six tuyères; l'autre, d'une disposition tout-à-fait semblable, n'en a que quatre.

Fig. 1. Plan d'une finerie et d'une partie du bâtiment.

Fig. 2. Coupe verticale de la finerie et du bâtiment suivant la ligne 1, 2 du plan.

A, A, *fig.* 1, piliers en fonte entre lesquels se trouve comprise l'aire du foyer, et qui supportent la cheminée.

d, d, fig. 2, plaques en fonte ou *marâtres* posées sur les piliers; *e, e*, autres marâtres posées sur les premières, de manière à former un cadre. Sur ce cadre est construite la cheminée en briques C, C.

Sur l'aire F, F, *fig.* 2, en briques réfractaires, sont posées trois bâches à eau en fonte et à couvercles *b, b, fig.* 1 et 2, formant l'enceinte du creuset *c c*. Ce dernier est fermé sur le devant par une plaque *h, h*, nommée plaque de Chio, portant une échancrure *o* au milieu de sa base. Cette plaque est maintenue par deux joues en fonte *g g*, sur lesquelles se place la plaque d'appui *f f*.

l, l', l', sont des lingotières en fonte placées jointives en avant du creuset, et un peu au-dessous de la sole ou fond *s, s*, de ce dernier. Ces lingotières s'avancent jusqu'au dehors du bâtiment par une porte P ménagée à cet effet, et sont suivies d'une grande bâche en fonte *n n*, dont le bord est au niveau du fond des lingotières.

La fonte, après avoir été affinée, est coulée en plaques dans les lingotières dont l'extrémité est fermée avec de la terre battue; et lorsqu'elle est solidifiée, on la tire dans la bâche *n n*, où on la refroidit avec de l'eau.

G, G, *fig.* 2, représente la plaque de fonte affinée placée sur un rouleau *r*, au moyen duquel on la retire de la bâche.

B, B, *fig.* 1 et 2, grandes plaques

évidées par le bas, posées sur les bâches latérales, et fixées après les piliers A, A. Contre ces plaques sont fixées les plaques de tuyères *p, p*. Ces dernières portent un nombre d'ouvertures égal à celui des tuyères que l'on veut employer.

b', b', fig. 1, bâches en fonte placées de chaque côté du foyer, et contenant de l'eau pour refroidir les outils.

T, T, conduite de vent passant derrière les fineries, et portant des embranchemens pour amener le vent aux tuyères.

P', *fig.* 1 et 2, porte établie derrière le foyer, et par laquelle on amène les fontes à affiner; P", porte de dégagement placée latéralement.

R, robinet placé près des portes P, pour donner l'eau nécessaire au travail.

Fig. 3. Coupe suivant la ligne 3, 4 du plan, montrant la lingotière à tête *l*. Elle diffère des autres en ce qu'elle est fermée, d'un bout, par une traverse échancrée, destinée à retenir les terres. Les lingotières sont simplement posées sur de la terre battue, et garnies latéralement.

Dans quelques usines, en vue de prolonger la durée des lingotières, on les pose sur une longue bâche, dans laquelle on fait constamment affluer de l'eau fraîche. La *fig.* 4 présente cette disposition en coupe transversale. Entre les lingotières *l'* et les rebords de la bâche *m*, on met une garniture en mastic pour retenir l'eau, de manière qu'elle mouille toujours le dessous des lingotières.

Détails à l'échelle de $\frac{4}{100}$. — *Fig.* 5. Élévation de face. *Fig.* 6, élévation latérale d'un pilier A supportant la cheminée; *b, b*, patin du pilier; *c, c*, tête à fourche pour recevoir les marâtres inférieures; *t*, talon de support.

D, D, élévation, *fig.* 7, et plan, *fig.* 8, de l'une des plaques sur lesquelles reposent les piliers; *e, e*, ergots entre lesquels sont calés leurs patins. Les plaques D, D sont scellées dans un massif de maçonnerie qui sert de fondation au foyer.

Fig. 9. Coupe transversale. *Fig.* 10, plan d'une des bâches latérales *b*; *k*, couvercle mastiqué dans une feuillure. On donne actuellement à ces bâches une forme symétrique, en augmentant leur épaisseur de haut en bas, afin qu'étant brûlées d'un côté, on puisse les faire servir de l'autre.

La bâche de derrière, ou de rustine, n'étant pas frappée par le vent des tuyères, est d'épaisseur uniforme, comme l'indique la *fig.* 2. Toutes ces bâches sont entretenues d'un filet d'eau froide.

Fig. 11. Élévation de la plaque de Chio *h, h*. *Fig.* 12, coupe par le trou de Chio *o*.

Fig. 13 et 14. Élévation latérale et bout de l'une des joues *g*; *i*, échancrure pour recevoir un ringard lors de la coulée.

Fig. 15. Élévation par-derrière. *Fig.* 17, coupe d'une plaque de tuyères *p, p*; *o*, échancrures pour passer les tuyères.

Fig. 17. Élévation par-devant. *Fig.* 18, vue par bout de la même plaque.

La Planche suivante offre tous les détails de construction d'une finerie.

PLANCHE 14.

Finerie a six tuyères de la forge anglaise de Terrenoire (Loire), par M. Walter; échelle de $\frac{1}{100}$.

L'usine de Terrenoire, dans laquelle on fabrique annuellement huit à dix mille tonnes de fer, est pourvue de deux fineries pour transformer la fonte en fin métal, l'une à six tuyères, dont on va faire connaitre la disposition, et l'autre à quatre tuyères, établie d'une manière analogue. Ces deux feux suffisent amplement aux besoins de la fabrication.

La *fig.* 1 représente l'élévation de la finerie par-devant; la *fig.* 2, une coupe transversale, ou suivant la ligne 1, 2 du plan; la *fig.* 3 est un plan à la hauteur des tuyères; la *fig.* 4, une coupe longitudinale suivant la ligne 3, 4 du plan; et la *fig.* 5, une élévation latérale.

A, A, *fig.* 1 à 5, montans ou supports en fonte, sur lesquels repose la cheminée. Les pieds de ces montans, ponctués *fig.* 2 et 4, reposent deux à deux sur une plaque R R, entre les ergots de laquelle ils sont calés solidement. Ces plaques R sont posées sur un massif de maçonnerie, qui les recouvre, et enveloppe le bas des montans jusque près du sol.

D, D; E, E, plaques ou marâtres à talons et à côtes de renfort, portées par les montans, et sur lesquelles est construite la cheminée en briques C.

S, S, *fig.* 2, 3 et 4, sole en briques réfractaires placées de champ. Elle s'élève au niveau du massif, et couvre un espace un peu plus grand que le fond du creuset.

a, a; b, b, fig. 1 à 5, bâches en fonte et à couvercle hermétiquement fermé, formant le pourtour du creuset sur trois côtés. Ces bâches sont pleines d'eau, et constamment alimentées par un filet de ce liquide froid, pour qu'elles puissent résister plus long-temps à l'action de la chaleur.

La bâche de derrière ou de rustine, *a*, est à section rectangulaire intérieurement, et d'épaisseur uniforme. Les bâches de côté ou de costières, *b, b*, ont une section intérieure en forme de trapèze, et présentent, vers le dedans du creuset, une plus forte épaisseur, parce que, placées sous le vent des tuyères, elles seraient trop promptement détruites sans cette précaution. Actuellement on donne une section symétrique à ces bâches, comme on le voit Pl. 13, *fig.* 9 et 10, ce qui permet de les retourner lorsqu'elles sont usées d'un côté. Il est convenable de donner les mêmes formes et dimensions à la bâche de rustine; elle dure ainsi plus long-temps, et peut remplacer l'une des autres au besoin.

Ces bâches sont posées sur la sole S, préalablement recouverte d'une couche d'argile réfractaire, pétrie en mortier. La même terre sert à faire les joints des bâches. Les couvercles de ces dernières sont lutés avec du mastic de fonte bien battu dans les joints.

b', b', bâches en fonte contenant de l'eau pour rafraîchir les outils.

B, B, *fig.* 2 à 5, plaques de foyer. Elles sont échancrées à la base, pour le passage des tuyères, reposent sur les

bâches de costières, et sont fixées aux montans A, A, par des boulons traversant de petits canons en fonte qui règlent leur écartement.

P, P, plaques de tuyères portant des échancrures O, O, par lesquelles les tuyères s'avancent dans le creuset. Ces plaques sont boulonnées avec les plaques de foyer, et affleurent les bâches de côté.

s, s, fig. 2 et 4, sole en sable réfractaire ou en scories riches concassées. Elle est prolongée en dehors par une rigole en sable ordinaire, que l'on fait au moment de la coulée.

t, t, tuyères à eau plongeant dans le creuset, de manière que le vent de l'une frappe le bain de métal vers le milieu, et celui de l'autre vers le côté opposé. Ces tuyères sont disposées alternativement sur les deux costières, *fig.* 3, de manière à répartir le vent plus également.

K, K, *fig.* 2 et 5, petites bâches en fonte placées sur les consoles des montans, et retenues, au moyen de boulons, contre les plaques de foyer B, B. Une conduite de tuyaux N, N, et un robinet R, servent à amener de l'eau dans ces bâches.

r, r, petits robinets adaptés au bâches K. Sous chaque robinet est un petit entonnoir prolongé par un tuyau en cuivre. Les tuyaux *l, l,* servent à introduire l'eau dans la double enveloppe des tuyères *t, t,* pour les rafraîchir; les tuyaux *k, k,* à alimenter les bâches du creuset, dans le même but.

l', l', fig. 1, 2 et 5, bouts de tuyaux recourbés, adaptés aux tuyères pour donner issue à l'eau échauffée; *k', k',* tuyaux pour évacuer également l'eau chaude des bâches *a, b, b,* qui entourent le creuset. Ces tuyaux versent leurs eaux dans les bâches *b', b',* percées ou échancrées à leur partie supérieure, pour déverser le trop plein.

T, T, *fig.* 2 et 3, conduites de vent terminées par des boîtes à vent ou de distribution. Ces boîtes portent des tubulures H, auxquelles s'adaptent des tuyaux en cuir ou culottes M; à l'autre bout des culottes sont adaptées des buses en tôle *m*, qui entrent dans les tuyères jusqu'à 10 ou 12 centimètres de l'œil.

h, h, fig. 1, 3 et 4, plaque de laiterol ou de Chio, fermant le creuset pardevant. Elle est appliquée contre les bâches, et les joints sont garnis en terre réfractaire. Cette plaque a une échancrure *o* au milieu de sa base, pour faire couler le métal en fusion et les scories.

g, g, joues d'embrasure de Chio. Elles servent à maintenir le laiterol et à porter la plaque de devant *f, f.* Chaque joue a une encoche inclinée, dans laquelle passe un ringard *i, i,* que l'on place pour y appuyer le perçoir ou ringard avec lequel on débouche le trou de Chio *o*, au moment de la coulée.

L, L, lingotières en fonte dans lesquelles on reçoit le fin métal en fusion.

Fig. 6. Coupe longitudinale de la boîte à vent. *Fig.* 7, élévation latérale. *Fig.* 8, plan d'une boîte en dessus.

G, G, boîte fermée d'un bout par un tampon fixé au moyen de boulons à pitons; H, H, tubulures de distributions; I, soupape pour régler et arrêter le vent; *n,* tige de support du levier *p q,* qui sert à manœuvrer la soupape; *q, x,* tige fendue et percée de plusieurs trous, pour guider le levier, que l'on retient dans la position voulue au moyen d'une cheville.

Fig. 9, *q, x; q', x',* vues de face et de côté de la tige directrice du levier.

Fig. 10. Tuyère sur échelle double,

vue du côté de l'œil; *fig.* 11, coupe en long indiquant la double enveloppe en tôle forte. Chaque tuyère est munie d'une queue en fer, pour la manier plus facilement.

Fig. 12. Coupe transversale d'une lingotière en fonte; et *fig.* 13, coupe d'une lingotière suivant la ligne 3, 4 du plan, *fig.* 3.

PLANCHE 45.

Four à puddler de l'ancienne forge à l'anglaise de Charenton (Seine), et de celle du Creusot (Saône-et-Loire); échelle de $\frac{1}{40}$.

L'usine du Creusot, montée pour produire dix à douze mille tonnes de fer par an, renferme dix-huit fours à puddler dans lesquels le fin métal provenant des fineries est transformé en fer ductile.

La *fig.* 1 représente l'un de ces fours vu par-devant.

La *fig.* 2 un plan du four, la voûte étant ôtée, ou une coupe horizontale suivant la ligne 1, 2, 3, 4, *fig.* 3.

La *fig.* 3 est une coupe verticale faite suivant la ligne 5, 6 du plan.

On a représenté ici un four isolé, mais plus ordinairement on les accouple en les adossant deux à deux. Dans tous les cas, chaque four doit avoir sa gaîne de cheminée particulière.

A, A, *fig.* 1, montans à pattes et à fourchettes, au nombre de quatre, reposant sur une fondation solide. Contre ces montans, on élève deux forts piliers en briques ordinaires, laissant entre eux l'espace nécessaire pour construire la partie inférieure de la gaîne de cheminée. D, D, *fig.* 2 et 3, représentent ces piliers, et R, R, indiquent la partie de la gaine construite en briques réfractaires.

B, B, *fig.* 1 et 2, fortes plaques à talons, reposant sur les montans, et maintenant leur écartement.

C, C, autres plaques semblables embrassant les extrémités des plaques B. Ces plaques forment un cadre solide sur lequel on construit la partie supérieure de la cheminée, et qui permet de réparer la partie inférieure, la seule endommageable, sans avoir d'accidens à craindre.

La gaine de la cheminée est toute en briques réfractaires, en ayant soin de placer toujours les meilleures vers le bas; ses dimensions sont uniformes dans toute la hauteur.

L'extérieur se monte en bonnes briques ordinaires, avec des retraits successifs, et on consolide la construction au moyen d'ancres en fer *aa*, retenues par des tirans à boucles.

Le dessus de la cheminée est recouvert d'un cadre en fonte EE, boulonné sur les ancres supérieures. Un support en fer *bc* traverse cette plaque et porte un levier *de*, à l'une des extrémités duquel est suspendue une plaque ou *registre* en fonte, servant à fermer la cheminée au besoin et à régler le tirage; une chaîne *ef*, accrochée à l'autre bout du levier, sert à le manœuvrer.

La construction de la cheminée est toujours indépendante de celle du four.

N, N, *fig.* 2, maçonnerie extérieure du four en briques ordinaires; O, O, maçonnerie intérieure toute en briques réfractaires, à partir de la grille Q et de la sole SS, *fig.* 2 et 3.

P, *fig.* 1 et 2, porte pour le chargement de la fonte; T, tisard ou gueulard pour jeter le combustible sur la grille.

G, G, H, I, *fig.* 1 et 2, plaques d'armature garnissant les deux grands côtés du four; elles sont maintenues solidement par des plaques d'appui M, M, dont les pieds se logent dans la fondation du four, et dont les têtes sont serrées deux à deux par des tirans à boulons. Des plaques semblables maintiennent les deux bouts du four.

K, K, *fig.* 1, cadre de porte retenu par les plaques d'appui voisines; P', P', dessous de porte sur lequel repose le cadre.

g, *g*, plaque de dessous du tisard.

V, V, *fig.* 3, voûte en briques réfractaires.

SS, *fig.* 2 et 3, sole en fonte, d'une seule pièce, dont le pourtour repose sur briques ordinaires; le dessous de la sole est laissé vide afin que l'air la rafraichisse, et qu'elle se détruise moins promptement.

P', *fig.* 2 et 3, autel ou pont de chauffe; P", pont de chio, par-dessus lequel s'écoulent les scories. Ces dernières tombent dans le bas de la cheminée, et sortent par un trou *t* que l'on nomme *floss* ou *chio*.

Q, *fig.* 2 et 3, grille à barreaux en fer, reposant sur des sommiers en fonte *ii*.

o, plaque en fonte placée un peu au-dessus de la grille, pour soutenir la maçonnerie supérieure.

hh, *fig.* 3, 23 et 24, plaque servant à consolider le bout du four; elle est percée de petites ouvertures rectangulaires par lesquelles on passe le tisonnier et les barres dites *gouvers*, qui servent à manœuvrer les loupes sous le marteau.

Détails à l'échelle de $\frac{1}{11}$. — *Fig.* 4 et 5. Profil et vue de face des montans de cheminée.

Fig. 6, 7 et 8. Plaques de cadre B, B, C, C en plan et élévation. *Fig.* 9, coupe transversale de ces plaques.

Fig. 10 et 11. Élévation et plan du cadre E E qui recouvre la cheminée.

Fig. 12 et 13. Élévation et plan du registre.

Fig. 14 et 15. Élévation et plan du dessous de porte P' P', *fig.* 1.

Fig. 16. Élévation du cadre de porte. *Fig.* 17, coupe de ce cadre suivant la ligne 9, 10 de la figure précédente.

Fig. 18. Élévation intérieure de la porte du four. *Fig.* 19, coupe suivant la ligne 11, 12 de l'élévation. *Fig.* 20, coupe suivant la ligne 13, 14. Le creux de cette porte est garni en briques réfractaires, afin qu'elle résiste au coup de feu.

Fig. 21. Élévation d'une plaque d'appui d'armature. *Fig.* 22, coupe transversale de cette plaque suivant la ligne 15, 16.

Fig. 23. Élévation de la plaque *h*, *h* vue en coupe, *fig.* 3. *Fig.* 24, coupe suivant la ligne 17, 18 de l'élévation; *o*, *o*, ouvertures rectangulaires dont il a été parlé précédemment.

Fig. 25. Élévation antérieure d'un tisard. *Fig.* 26, coupe suivant la ligne 19, 20.

Fig. 27 et 28. Élévation et plan du dessous de tisard *gg*, *fig.* 1.

Fig. 29. Sommier de grille vu latéralement. *Fig.* 30, coupe de ce sommier.

Fig. 31. Coupe longitudinale de la sole du four. *Fig.* 32, plan de cette sole, indiquant son tracé et ses dimensions.

Fig. 33. Élévation par-devant de l'un des fours à puddler des forges de Terre-noire (Loire). Les plaques d'armature

et leurs appuis sont coulés ensemble et font corps; des tirans à boulons serrent les armatures par le bas et par le haut. Il y a sous le seuil de porte P'P', un trou O destiné à faire écouler les scories au besoin; on bouche ce trou avec de la terre réfractaire.

o, o, sont de petites ouvertures au nombre de deux ou trois, dans lesquelles on passe les gouvers pour les chauffer. On évite ainsi d'introduire de l'air froid immédiatement au-dessus de la grille, et en aussi grande quantité que par la disposition des fours précédemment décrits. Le reste de la construction et de la disposition est semblable à celles de ces derniers fours.

Fig. 34. Coupe d'un tisard des fours de Terrenoire.

Fig. 35. Plan de la plaque de dessous du tisard, portant des nervures pour le retenir latéralement. *Fig.* 36, coupe transversale de cette plaque, indiquant la saillie des nervures.

On trouvera dans la Pl. 16, *fig.* 9 à 13, les détails d'une sole en fonte employée pour les fours à puddler de l'usine de Terrenoire.

PLANCHE 16.

Four à puddler à double sole des forges de Bologne (Haute-Marne); échelle de $\frac{1}{40}$.

Ces fours, également en usage dans les forges anglaises de Bologne, de Châtillon (Côte-d'Or), ainsi que dans les forges à procédés mixtes, telles que celles de Jean-d'Heurs (Meuse), diffèrent des précédens, en ce qu'ils ont une seconde sole *ss*, *fig.* 1 et 2, placée entre la sole de travail SS et la cheminée. Cette seconde sole sert à chauffer la fonte avant de la porter sur la sole de puddlage, ce qui accélère l'opération, et procure une économie de combustible.

La *fig.* 1 est un plan du four au-dessus des soles, ou suivant la ligne 1, 2 de la *fig.* 2.

La *fig.* 2 représente une coupe longitudinale du four, passant par le milieu.

Fig. 3. Élévation du four par-devant.

Fig. 4. Coupe suivant la ligne 3, 4 de la *fig.* 2.

Fig. 5. Coupe suivant la ligne 5, 6; et, *fig.* 6, coupe suivant la ligne 7, 8.

La construction et la disposition de ce four étant tout-à-fait analogues à celles du précédent, on se bornera à indiquer les différences principales.

Le four à puddler proprement dit, c'est-à-dire la grille Q et la sole de travail SS, *fig.* 1 et 2, sont semblables aux mêmes parties du four représenté Pl. 15, et les mêmes lettres représentent les mêmes objets. Les laitiers, au lieu de tomber dans la cheminée, sont reçus ici dans une espèce de fosse placée entre les deux soles, et s'écoulent par un trou de chio *t*, qui débouche à la partie postérieure du four, *fig.* 1, 2 et 4.

La grande sole SS est soutenue par des plaques en fonte, et se compose de scories concassées; la petite sole *ss* est au contraire sur massif, et elle est construite en briques réfractaires placées de champ.

L'armature du four se compose de simples plaques d'appui, boulonnées comme l'indiquent les *fig.* 1 à 6; mais

le bout du four et le côté opposé au tisard sont soutenus par des plaques II, *fig.* 1 et 2, *ll*, *fig.* 1 et 6.

Pour maintenir les voûtes du côté de l'embrasure de chio, on a placé des tirans à crochets *m m*, *fig.* 2 et 4; mais des plaques d'appui eussent été préférables.

La cheminée est construite et armée comme celle du four de la Pl. 15, seulement les montans de la base sont placés sur les faces latérales, et l'on a pratiqué dans la maçonnerie extérieure des soupiraux *b b* qui exposent moins la cheminée à se crevasser, parce que le dégagement des vapeurs d'eau se fait plus facilement.

Sur le devant du four, *fig.* 3, sont des supports en fer EF, EF, auxquels s'adapte une traverse GG. Ces supports servent de point d'appui à des leviers I'I', qui, au moyen de contre-poids L, permettent d'équilibrer et de manœuvrer facilement les portes.

Sur la traverse GG court une poulie *c* portant une chaîne à crochet *de*. Lorsque l'ouvrier veut porter la fonte de la petite sole sur la grande, il introduit une pelle en fer par la porte *p*, la charge, puis appuyant le manche sur le crochet *e*, il la retire et la pousse jusqu'à la porte P du four à puddler. La *fig.* 5 fait voir la disposition latérale des leviers et de la traverse.

Détails à l'échelle de $\frac{1}{15}$. *Fig.* 7, plan des plaques de sole. On en emploie ordinairement trois et quelquefois quatre, afin de pouvoir changer séparément celles qui se détériorent. *Fig.* 8, élévation des plaques montrant leur épaisseur.

Fig. 14. Détail de l'une des portes *p* et de sa plaque de seuil *qq*; *n*, *fig.* 3 et 14, plaque de regard à talon, avec laquelle on bouche le trou de la porte; dans cette plaque est un petit trou par lequel l'ouvrier observe la marche du travail, et qu'il ferme avec un bouchon d'argile.

Fig. 9. Élévation antérieure d'une grosse sole en fonte, employée pour le puddlage sur fonte aux forges de Terre-noire. *Fig.* 10, plan de cette même sole. Elle est faite en deux pièces, parce que l'avant-sole, c'est-à-dire la partie avoisinant l'autel ou le pont de chauffe, s'usant plus vite que l'autre, il est nécessaire de la remplacer plus souvent. Dans la partie antérieure qui forme l'appui de la porte, est percé un trou pour faire écouler les laitiers, lorsque la sole se creusant, ils ne peuvent plus couler en totalité vers la cheminée.

Fig. 11. Coupe de l'avant-sole suivant la ligne 9, 10, *fig.* 10. *Fig.* 12, coupe de la même partie suivant la ligne 11, 12. *Fig.* 13, coupe de l'arrière-sole suivant la ligne 12, 13.

PLANCHE 17.

Marteau frontal des forges du Creusot (*Saône-et-Loire*); *échelle de* $\frac{1}{12}$.

Ce marteau, dont toutes les pièces sont en fonte, est, sauf quelques légères variations dans les dimensions, celui qui est employé dans toutes les forges à l'anglaise de France et d'Angleterre.

La *fig.* 1 le représente en élévation latérale, la charpente sur laquelle il est établi étant supposée déchaussée jusqu'à la maçonnerie de fondation.

La *fig.* 2 est une vue en plan prise au-dessus du marteau.

La *fig.* 3 est une vue par-derrière.

A, A, *fig.* 1 et 2, grand arbre en fonte, portant à l'une de ses extrémités une manivelle, mise en mouvement par une machine à vapeur; T, T, support portant l'un des tourillons de cet arbre.

B, B, *bague à cames*, solidement fixée sur l'arbre A A, et dans laquelle sont placées cinq cames C, C; ces cames sont maintenues invariablement dans leurs logemens par des cales en bois de chêne *i* et *i'*.

M, M, *manche de marteau* dont les différentes parties sont : la *croisée* G G sur les tourillons *t*, de laquelle s'exécute le mouvement de rotation; la *tête* DD, dans laquelle est pratiqué un trou conique O, que l'on nomme *œil*, pour recevoir la queue du marteau P; cette queue est fixée dans l'œil au moyen de cales en fer et en bois; les *oreilles* EE, formant une assez forte saillie sur la tête, et destinées à refouler les bouts des lopins de fer; le *front* ou *mentonnet* F, qui est la partie saisie par les cames.

a, *fig.* 1, plaque de mentonnet ou de frottement des cames; elle est en fer, et fixée au front par un boulon *b* à tête fraisée.

P, *marteau* en fonte fixé dans la tête du manche.

Q, *enclume* également en fonte, dont la queue s'engage dans une *chabotte* H H.

K, K, lit ou plaque de chabotte, boulonnée sur une forte charpente inférieure.

S, S, *fig.* 1, 2 et 3, support de la croisée du manche; *cc*, coussinet en fonte dure, placé sur une forte cale en fonte ou mieux en bois *e*. Cette cale, ainsi que le coussinet, sont retenus latéralement par les joues *ff* du support, et des cales en fer *dd*, maintiennent le coussinet dans le sens de sa longueur.

L L, *fig.* 1, 2 et 3, lit ou plaque de support; cette plaque porte six oreilles R, R, qui servent à la boulonner sur la charpente de fondation, et des *ergots* ou épaulemens N, N, entre lesquels les patins ou pieds de support sont fortement serrés par des cales en fer *g g*.

V, V, *fig.* 1 et 3, massif en charpente, formé par des longrines et des traversines juxta-posées et chevillées entre elles. Ce massif repose sur une bonne maçonnerie de fondation en pierre de taille U U.

X X, exhaussement du massif en charpente, pour élever les supports S, S, à hauteur convenable.

Y, Y, *fig.* 1 et 2, exhaussement semblable pour recevoir le support T T.

De forts boulons à clavettes servent à fixer invariablement sur ces massifs de charpente les plaques de support et de chabotte.

Fig. 4. Plaque de support vue séparément. *Fig.* 5, coupe de cette plaque suivant la ligne 1, 2. Les mêmes lettres représentent les mêmes objets que dans les figures d'ensemble.

La bague à cames fait 16 à 18 tours par minute, en sorte que le marteau frappe de 80 à 90 coups dans le même temps. Le poids du manche du marteau est d'environ 3,500 kil., et celui d'un marteau est de 400 à 425 kil.

PLANCHE 18.

Détails du marteau frontal du Creusot; échelle de $\frac{1}{11}$.

Fig. 1. Bague à cames, vue de côté. *Fig.* 2, coupe suivant la ligne 11, 12, *fig.* 1. Elle porte cinq logemens de cames *bd*, dont la partie *b* est un prisme rectangulaire, et la partie *d* un tronc de pyramide ayant deux faces contiguës dans le prolongement de celle du prisme, et les deux autres inclinées pour former queue d'aronde.

ee, épaulemens coulés avec la bague, servant d'appui aux cales des cames, et augmentant ainsi la portée de ces dernières.

ll, lumière carrée, dans laquelle passe l'arbre de rotation.

CC, *fig.* 1 et 2, came placée dans son logement.

Fig. 3. Came vue de côté. *Fig.* 4, came vue de face.

t, tête de came ou came proprement dite; les parties *a* et *q* sont le corps et la queue de la came.

Fig. 5. Chabotte HH placée sur sa plaque KK, vues partie en coupe, partie en élévation. *Fig.* 6, plan d'une moitié de chabotte et de sa plaque; *q*. logement de la queue de l'enclume; II, mortaise traversant la chabotte de part en part, et dans laquelle on chasse un coin de fer, lorsqu'on veut soulever l'enclume pour la retirer.

Fig. 7. Enclume QQ vue en dessous; même pièce vue de côté, *fig.* 8, et en dessus, *fig.* 9; *m*, queue de l'enclume; *t*, sa table sur laquelle on commence à cingler les lopins de fer affiné; *p*, panne à parer le fer; *r*, panne à étirer; *ss*, renforts placés dans les angles des deux pannes.

Fig. 9. Plan du marteau vu en dessous, semblable en tout à la partie correspondante de l'enclume, et composé des mêmes parties. *Fig.* 10, marteau vu de côté; et, *fig.* 11, marteau vu par-devant. Les lettres *p*, *r*, *s* indiquent les différentes parties percutantes du marteau, dont les noms sont les mêmes que ceux des parties correspondantes de l'enclume. *n*, queue du marteau de forme conique, et dont le bout est coupé à huit pans pour recevoir les cales.

Fig. 12. Coupe et élévation du support SS de la croisée du manche de marteau. *Fig.* 13, plan de ce support. *Fig.* 14, coupe suivant la ligne 9, 10, *fig.* 13. *ff*, joues entre lesquelles sont retenus les coussinets; *m*, mortaises par lesquelles on introduit les cales et les coins de dessous.

Fig. 15. Élévation; *fig.* 16, plan d'un coussinet du support précédent. Ces coussinets sont en fonte.

Fig. 17 et 18. Vues de face et de côté de l'une des cales de bouts de coussinets.

Fig. 19. Arbre en fonte sur lequel sont placés : en A, la manivelle qui lui transmet le mouvement; en V, un volant dont le poids de la jante est d'environ 4,000 kil.; et, en B, la bague à cames. *t*, *t*, tourillons de l'arbre; *p*, collet embrassé par une courroie ou une chaîne, pour donner le mouvement à un pendule conique, lorsque le moteur est une machine à vapeur.

A, *fig.* 20, vue du bout de l'arbre du côté de la manivelle; V, *fig.* 21, coupe suivant la ligne 1, 2, *fig.* 19.

Fig. 22. Coupe dans le milieu de l'arbre, suivant la ligne 3, 4; C, *fig.* 23, vue de l'arbre par bout, du côté de la bague à cames.

Fig. 24 et 25. M, manivelle vue de face et de côté; O, lumière du moyeu; *o*, œil du manneton; *m*, manneton en fer auquel vient s'adapter la bielle de la machine à vapeur.

Fig. 26. Élévation du support de l'arbre, *fig.* 19, du côté de la bague, et coupe suivant la ligne 7, 8 du plan. *Fig.* 27, plan de ce support. *Fig.* 28, coupe suivant la ligne 5, 6 du plan. *c*, *c*, joues latérales pour maintenir les coussinets; *a*, coussinet inférieur en bronze; *b b*, ponctués, *fig.* 26, coussinets latéraux également en bronze. Les *fig.* 29 et 30 font voir ces dernières pièces en élévation et en plan; et les *fig.* 31 et 32 représentent le coussinet inférieur vu par bout et en plan.

Fig. 33. Vue en dessus du support de l'arbre, *fig.* 19, du côté de la manivelle. *Fig.* 34, élévation de ce même support; et, *fig.* 35, plan de la même pièce, le chapeau étant enlevé. Dans la partie inférieure du support est un coussinet demi-cylindrique en bronze, et le chapeau est garni d'une simple plaque de même métal.

PLANCHE 49.

Laminoir dégrossisseur de l'usine du Creusot; échelle de $\frac{1}{11}$.

Le laminoir représenté par cette planche a ses cylindres disposés pour recevoir les balles ou loupes immédiatement au sortir des fours de puddlage, quoique le plus ordinairement ces loupes soient d'abord cinglées et écarries sous le marteau, et passées ensuite au dégrossisseur sans recevoir une nouvelle chaude.

La *fig.* 1 est une élévation du laminoir, dont chaque cylindre C, C' est mis en communication avec un pignon P, *fig.* 3, qui lui transmet le mouvement.

La *fig.* 2 est une coupe horizontale faite suivant la ligne 1, 2, *fig.* 1, le laminoir étant séparé de ses pignons.

D A E, D A E, *fig.* 1, *cages* ou *fermes* vues de profil, entre lesquelles sont placés les cylindres, et dont l'écartement est maintenu par deux forts boulons *a a*, de chaque côté. A A, *fig.* 1 et 2, *montans* de cage; E, E, *semelles* ou *patins*, dont chaque extrémité est percée de deux trous destinés au passage des boulons qui fixent les cages, soit sur une forte plaque en fonte, soit immédiatement sur la charpente de fondation; D D, *fig.* 1, *têtes* dans lesquelles sont logés de forts écrous en cuivre, avec leurs vis de pression V, V; C C, *fig.* 1, *cylindre mâle* ou *supérieur*; C'C', *fig.* 1 et 2, *cylindre femelle* ou *inférieur*; G, G, *tourillons* ou *collets*; F, F, *trèfles* destinés à s'emboiter dans les manchons M, au moyen desquels, et des *allonges* L, on établit la communication entre les cylindres et les pignons.

Les deux cylindres portent deux séries de cannelures, les unes en forme d'ogives, se rapprochant peu à peu du carré, les autres plates; elles sont et doivent être disposées de manière que celles de moindres dimensions se trouvent vers le milieu des cylindres.

Chaque montant A, *fig.* 2, porte une rainure *c*, du côté de l'intérieur; et dans les rainures d'un même côté des cylin-

dres sont fixées, à hauteur convenable, des barres de fer horizontales *b b*, *b b*, de 4 ½ à 5 centimètres d'écarrissage.

Sur ces barres sont posés (comme l'indique la *fig.* 1, Pl. 20) : du côté de l'entrée des cylindres, c'est-à-dire du côté où l'ouvrier introduit le fer dans les cannelures, une plaque de fonte HHH, que l'on nomme *tablier*; et du côté opposé, d'autres plaques de fonte II, KK, que l'on nomme *gardes*.

Le tablier sert à soutenir le fer à hauteur des cannelures, et ses extrémités sont plus larges que le centre, afin que le fer, encore peu étiré dans les grandes cannelures, puisse s'y poser et y être repris plus aisément. Les gardes servent à recevoir le fer à la sortie des cylindres, et à l'empêcher de s'enrouler autour de celui de dessous; à cet effet, elles ont des saillies qui s'introduisent dans les cannelures, et touchent presque le cylindre inférieur.

NBE', NBE', *fig.* 3 et 4, cages des pignons vues de profil et de face. Dans la dernière figure, on suppose la cage antérieure enlevée.

B, B, *montant* de cages; E'E', *semelles* boulonnées, soit sur plaque en fonte, soit immédiatement sur charpente, comme les cages de cylindre; NN, *chapeaux* fixés sur les montans par les boulons *t t*, et leurs écrous O, O. XX, YY, *porte-coussinets* en fonte; entre le dernier et le chapeau, on place une pièce de bois qui remplit l'intervalle, et ne laisse que le jeu nécessaire au libre mouvement de rotation.

Les tourillons des pignons et leurs trèfles F'F', ont les mêmes dimensions que les tourillons et les trèfles des cylindres.

Fig. 5. Cage de pignon sans son chapeau, et dans laquelle on a représenté en ponctué les différentes pièces de garniture des tourillons.

Fig. 6. Coupe de cette cage suivant la ligne 3, 4, *fig.* 5. *Fig.* 7, chapeau NN vu en dessus.

n, *fig.* 5, 8 et 9, coussinet inférieur en cuivre, qui se loge dans la semelle en *n'*, *fig.* 6; *o*, *o*, *fig.* 5, coussinets de côté du pignon inférieur, placés dans les entailles *o'*, *o'*, des montans, *fig.* 6; XX, *fig.* 5, 10 et 11, porte-coussinet double, dont les tenons entrent dans les rainures *z z*, *fig.* 6, qui règnent jusqu'au sommet des montans; *p*, *q*, coussinets en cuivre, le premier reposant sur le tourillon du pignon inférieur, le second portant le tourillon du pignon supérieur; Z, Z, *fig.* 5, 12 et 13, *bloches* en fonte, placées dans les rainures *z z*, *fig.* 6; ces bloches sont garnies de coussinets latéraux *r*, *r*. YY, *fig.* 5, porte-coussinet supérieur garni de son coussinet *s*.

Les boulons *t t*, *fig.* 4 et 5, sont logés dans des trous réservés à la fonte, et retenus dans les montans par des clavettes *u u*.

Nota. Vu le peu d'espace, les manchons M, M, *fig.* 1 et 3, n'ont pu être séparés suffisamment. Leur distance doit être un peu plus grande que la longueur d'un manchon, pour qu'on puisse les mettre et les ôter avec facilité. La cote indique leur distance telle qu'elle doit être.

PLANCHE 20.

Suite et détails de laminoirs dégrossisseurs ; échelle de $\frac{1}{12}$.

Fig. 1. Coupe transversale du laminoir représenté *fig.* 1, Pl. 19, montrant l'une des cages en élévation intérieure, et la position du tablier H H, ainsi que des gardes I I.

Fig. 2. Coupe horizontale suivant la ligne 1, 2, *fig.* 1, les cylindres et toutes les garnitures de tourillons étant enlevés.

Fig. 3. Élévation intérieure d'une cage vue séparément, et dans laquelle sont ponctuées toutes les garnitures.

Fig. 4. Plan d'une cage vue en dessus.

Fig. 5. Coupe verticale d'une cage suivant la ligne 3, 4, *fig.* 3, toutes les garnitures étant enlevées.

Les parties principales étant déjà connues par ce qui précède, on ne parlera ici que de celles dont il n'a pas encore été fait mention, ou dont la description n'a pu être complétée.

a' a', *fig.* 1 et 3, trous réservés dans les montans, haut et bas, pour le passage des boulons d'écartement des cages. Ces trous sont entourés de rondelles en fonte coulées avec les cages.

c c, *fig.* 1, 2 et 3, rainures réservées dans les montans A A, du côté intérieur, pour recevoir les barres de fer *b b*, *fig.* 1, qui portent le tablier H H et les gardes I I.

l l, *fig.* 1, 2, 3 et 5, nervures des montans du côté extérieur, pour retenir les garnitures de tourillons.

g, *fig.* 3, 16 et 17, coussinet en bronze recevant un des tourillons du cylindre inférieur. Il est logé entre les deux saillies *f f* de la semelle, *fig.* 2 et 3.

R R, *fig.* 1, 3, 14 et 15, chapelle en fonte recouvrant les tourillons inférieurs, et portant les supérieurs sur des coussinets *h h*. On exhausse convenablement les chapelles en les faisant porter sur des tasseaux en bois ou en fonte. Cette disposition permet de varier les diamètres de cylindres sans changer ces garnitures.

S, S, *fig.* 1, 3, 18 et 19, bloches en fonte portant les coussinets latéraux *i i*.

T, T, *fig.* 1, 3, 12 et 13, porte-coussinet supérieur avec son coussinet *k*.

U, *fig.* 1, 3, 10 et 11, *bloc* en fonte dont le dessus est un peu concave pour recevoir le bout de la vis.

V, *fig.* 1, 3 et 6, vis de pression en fer à filets carrés ; la *fig.* 7 est une vue de la vis en dessus, indiquant la forme octogonale de sa tête.

e e, *fig.* 3, 8 et 9, écrou en cuivre jaune ou en bronze, logé dans le trou de la tête de cage Q, *fig.* 4 et 5, et calé ou serré de manière à ne pouvoir descendre par son propre poids.

Fig. 20. P, pignon de laminoir ; G', G', ses tourillons ; F' F', ses trèfles, de mêmes dimensions que ceux des cylindres. *Fig.* 21, pignon vu moitié en coupe, moitié en élévation par bout, et montrant la denture encastrée en partie. F' représente la moitié d'un trèfle.

Fig. 22. Allonge vue de côté. *Fig.* 23, même pièce vue par bout ; elle a la même forme que les trèfles, et sa longueur, indiquée par la cote, doit être un peu plus du double de celle d'un manchon.

Fig. 24. Manchon vu par bout. *Fig.* 25, coupe longitudinale d'un manchon. L'évidement intérieur a une forme

semblable à celle des trèfles et allonges, mais ses dimensions sont un peu plus grandes, pour laisser le jeu nécessaire au glissement du manchon sur ces pièces.

PLANCHE 21.

Cisailles de l'usine du Creusot; échelle de $\frac{1}{15}$.

On fait usage dans les forges à l'anglaise de deux espèces de cisailles; les unes, représentées par la *fig.* 1, sont nommées *cisailles à queue*, et sont surtout employées à couper les fers de petit échantillon, et à rogner les grosses tôles; les autres, vues en élévation latérale, *fig.* 10, sont nommées *cisailles droites*, et sont spécialement employées à couper les gros fers. Les premières peuvent servir au même emploi, en leur donnant une force suffisante.

Fig. 1. Élévation latérale d'une cisaille à queue toute montée.

Fig. 3 et 4. Partie supérieure de la cisaille, vue séparément de profil et de face.

CD, *fig.* 1, 3 et 4, cisaille se composant d'une mâchoire M, d'une tête D, et d'une queue CC. Elle est percée d'un trou GG, nommé *œil*, dans lequel passe un boulon *b*, *fig.* 1 et 7, autour duquel s'opère le mouvement de rotation. Ce boulon est retenu par une clavette *dd*. La mâchoire de la cisaille porte une entaille rectangulaire *a'a'*, *fig.* 3 et 4, dans laquelle s'adapte un couteau en acier *aa*, *fig.* 1, fixé par des boulons à tête fraisée.

AA, *fig.* 1 et 2, *bloc* ou *support* de cisaille, coulé d'une seule pièce avec sa semelle SS; II, cotes de renfort. Dans la semelle est réservée une ouverture NN, pour le passage et le mouvement de la queue de la cisaille.

B, B, *poupée* de support, vue de face et de profil, *fig.* 5 et 6; elle est fixée par des cales en fer sur la semelle du bloc, entre les ergots EE, *fig.* 1 et 2, et porte l'extrémité du boulon *b*. Une forte côte de renfort H, empêche toute flexion latérale du montant.

c, *c*, *fig.* 1 et 8, couteau en acier fixé par des boulons à tête fraisée, dans une entaille du bloc, pour former la mâchoire inférieure de la cisaille. La *fig.* 9 représente séparément un de ces boulons avec son écrou.

La semelle du bloc étant posée sur une fondation en charpente ou maçonnerie à fleur de sol, la queue de la cisaille descend entre les deux parois de cette fondation. A son extrémité est adaptée une bielle tirante KL, qui reçoit le mouvement, soit d'une manivelle ordinaire, soit d'un bras d'engrenage disposé en manivelle.

Les cisailles à queue ont cela d'avantageux, qu'on peut leur donner le mouvement à une grande distance, avec ou sans changement de direction, ce qui permet de les placer là où elles sont immédiatement nécessaires, ou de les éloigner d'un atelier dont elles gêneraient le service.

Fig. 10. Élévation latérale d'une cisaille droite toute montée.

Fig. 11. Vue en dessus de cette cisaille; et, *fig.* 12, vue par bout du côté de la tête.

Le bloc, sa poupée, et l'ajustement de la cisaille, sont disposés d'une ma-

nière semblable à celle décrite précédemment; les mêmes parties sont indiquées par les mêmes lettres, et portent le même nom, à l'exception de la partie CC, *fig.* 10 et 11, qui prend ici le nom de *bras*.

Ce bras est mis en mouvement au moyen d'un excentrique GG, monté sur un arbre en fonte FF, lequel porte une roue à dents qui engrène avec l'une des roues du mécanisme moteur de la forge.

L'excentrique, vu séparément de face et en coupe, *fig.* 14 et 15, en tournant avec l'arbre, élève à chaque tour le bras de la cisaille, et fait fermer les mâchoires. On voit en G'G', la position de l'excentrique correspondante à la plus grande élévation du bras en C'C'.

La *fig.* 13 représente une élévation du bloc de la cisaille, séparé de toutes les autres pièces. Vis-à-vis les ergots EF, sont réservées dans la partie droite AA, deux ouvertures *oo*, par lesquelles on repousse les coins lorsqu'on veut démonter la poupée. *c' c'* représente l'évidement dans lequel se place le couteau de la mâchoire inférieure.

Le mouvement des cisailles est réglé de manière qu'elles donnent de 30 à 32 coups par minute.

PLANCHE 22.

Four à réchauffer des forges d'Abersychan, pays de Galles, par M. Ph. Taylor; échelle de $\frac{3}{100}$.

La disposition et la construction des fours à réchauffer ont la plus grande analogie avec celles des fours à puddler décrits Pl. 15; et dans quelques usines, il n'existe pas de différences sensibles entre les formes intérieures de ces deux espèces de fours, dont le but n'est cependant pas le même. Mais l'expérience a démontré que la forme intérieure des fours à réchauffer influe beaucoup sur les déchets, ainsi que sur la consommation de combustible: et, sous ce double rapport, on peut considérer les fours construits par M. Taylor comme donnant de très bons résultats.

Fig. 1. Four vu par-devant, ou du côté de la porte de chargement.

Fig. 2. Coupe longitudinale du four et de sa cheminée.

Fig. 3. Plan du four pris au-dessus de la sole.

Fig. 4. Élévation latérale du four du côté du cendrier.

Fig. 5. Élévation latérale du côté de la cheminée.

Fig. 6. Coupe horizontale au-dessus des plaques de support de la cheminée, ou suivant la ligne 1, 2, de la *fig.* 5.

Fig. 7. Coupe horizontale de la cheminée suivant la ligne 3, 4, *fig.* 4.

La cheminée EE de ce four est construite comme celles des fours à puddler, sur des montans A, A, *fig.* 1, 3 et 5, recouverts de plaques à nervures BB et CC, *fig.* 2, 4 et 6, formant le cadre qui porte la partie supérieure. Entre les plaques supérieures CC, *fig.* 6, sont placées d'autres plaques unies DD, reposant sur les plaques BB, et qui ont pour but de former une assise de niveau. Les montans A ont une forte nervure intérieure, comme l'indique la *fig.* 3,

portent à leur partie inférieure une pate *fg*, qui repose sur la maçonnerie de fondation M, *fig.* 2; et à leur partie supérieure, une autre pate *de*, qui sert d'appui aux plaques BB et CC. Aux montans A A sont boulonnées des plaques *ll*, *fig.* 1 et 3.

La maçonnerie extérieure de la cheminée, vue suivant l'axe du four, est divisée en deux parties, laissant entre elles un intervalle LL, *fig.* 4, 5 et 7, au moyen duquel on peut construire séparément la partie en briques réfractaires RR, ou la réparer au besoin. La hauteur totale de la cheminée et ses armatures sont les mêmes que pour les fours déjà décrits.

Le four est construit sur deux petits murs M', M', *fig.* 4, qui forment la fosse FF du cendrier, *fig.* 2 et 4, laquelle se prolonge comme l'indique la partie ponctuée de la *fig.* 2, pour donner au chauffeur un libre accès à la grille du four.

Sur les murs M', M', sont posées des plaques de fonte *pp*, *fig.* 2, 4 et 5, à fleur de sol, et sur ces plaques reposent immédiatement celles qui forment l'enveloppe extérieure du four, indiquées par les lettres G, H, I et *h*, *fig.* 1, 2, 3 et 4. Ces plaques d'enveloppe sont boulonnées entre elles et avec les montans de cheminées qui les joignent.

Aux plaques d'enveloppe sont boulonnées de chaque côté des consoles en fonte NN, *fig.* 2 et 4, sur lesquelles reposent les supports de grille *ii*, la plaque de support du pont de chauffe P', et les plaques de sole *nn*, soutenues transversalement par des barres de fer.

La maçonnerie intérieure du four s'élève sur les consoles, comme l'indiquent les *fig.* 2, 3 et 4; le fond du cendrier est pavé en briques de champ.

Ce mode de construction, applicable d'ailleurs à tous les fours de même genre, est très solide, évite les plaques d'appui d'armature et leurs tirans en fer, et permet en outre de réduire la maçonnerie du four au seul briquetage réfractaire *oo*, ce qui réduit l'espace occupé en largeur par le four.

La sole du four SS, *fig.* 2 et 3, est de forme rectangulaire, rétrécie par des arcs de cercles près de l'ouverture de la cheminée. Cette sole est faite en sable quarzeux, mélangé d'une quantité suffisante d'argile réfractaire, pour lui donner de la consistance, et le tout est battu très fortement.

L'embrasure de la porte de chargement P est fortement évasée, pour que l'on puisse atteindre facilement les divers points de la sole. La porte P, *fig.* 1, se manœuvre au moyen d'un levier *bc*.

Le tisard T est semblable à ceux des fours à puddler.

Détails sur échelle double. KK, *fig.* 8, plaque de porte de four, vue en coupe, *fig.* 9. Elle est assemblée avec les plaques I, I, *fig.* 1, par des boulons à têtes fraisées, afin de ne pas gêner le mouvement de la porte.

HH, *fig.* 10, plaque de dessous de la porte. Vue en coupe, *fig.* 11. Elle a un rebord supérieur saillant, pour servir d'appui au *dessous* ou *seuil* de porte.

Ces plaques, ainsi que toutes celles d'enveloppe, ont 3 centimètres d'épaisseur.

NN, *fig.* 12, élévation intérieure d'une console; *fig.* 13, coupe transversale suivant 5, 6.

BB, *fig.* 14, coupe longitudinale d'une des plaques de cadre de la cheminée; *fig.* 15, vue de cette plaque par bout; *fig.* 16, coupe suivant la ligne 7, 8.

Les observations faites dans la description de la Pl. 15, relativement à la dis-

position des fours à puddler dans l'usine, sont applicables ici.

L'usine d'Abersycban est entièrement dallée en fonte dans l'espace compris entre les fours, les marteaux et les jeux de laminoirs, ce qui dispense de l'emploi de plaques coursières ou de trainage.

Dans les usines où cela n'a pas lieu, il faut établir des plaques coursières, à partir des fours, dans toutes les directions où l'on doit porter le fer au sortir de ces fours.

PLANCHE 23.

Laminoirs marchands de l'usine de Seraing (Belgique); échelle de $\frac{1}{15}$.

Les laminoirs de l'usine de Seraing sont remarquables par la disposition de leurs cages, qui permettent de placer les porte-coussinets sans être obligé de déranger les cylindres; ce qui ne peut se faire avec les cages semblables à celles des laminoirs dégrossisseurs, décrits Pl. 19, parce qu'elles portent du côté extérieur une feuillure qui empêche les garnitures de sortir de ce côté.

La *fig.* 1 représente en élévation un jeu de laminoirs pour fabriquer des fers carrés.

La *fig.* 2, un second jeu en communication avec le premier, et destiné à faire des fers ronds. Dans cette figure, les cages sont coupées suivant un plan vertical passant par l'axe des cylindres.

La *fig.* 3 est une élévation par bout du train de laminoirs de la *fig.* 2. La *fig.* 4, une élévation intérieure d'une cage, toutes les garnitures étant enlevées. On les a ponctuées, pour montrer distinctement la place de chacune.

La *fig.* 5 est une coupe verticale faite suivant la ligne 1, 2 de la figure précédente; et la *fig.* 6 une coupe horizontale suivant la ligne 3, 4.

La *fig.* 17 représente une partie du jeu de pignons PP, au moyen desquels le mouvement est transmis aux laminoirs.

A, A, *fig.* 1 à 6, cages en fonte, portant à leur partie supérieure une tête ou renflement D D, dans lequel se loge l'écrou I de la vis de pression V.

E, E, semelles ou patins formant la partie inférieure des cages, et reposant sur des plaques ou *lits* en fonte KK. Ces plaques ont des rebords ou ergots N N, *fig.* 1 à 3, entre lesquels les patins sont assujettis simplement au moyen de cales *o*, *o*, et de coins *t*, *t*. Les plaques de lit sont boulonnées solidement sur une charpente de fondation. On les allège par des évidemens O, O, *fig.* 2 et 3.

L'écartement des cages, fixé par la longueur des cylindres de laminoirs, entre les embases de tourillons, est maintenu par quatre boulons d'assemblage à clavettes et écrous *a*, *a*.

CC, C'C', *fig.* 1 et 2, cylindres cannelés de même diamètre. G, G, leurs tourillons. F, F, les trèfles au moyen desquels le mouvement leur est donné. Les pignons et les trains de laminoirs sont réunis par des allonges L, L, placées bout à bout des trèfles, et embrassées, ainsi qu'eux, par des manchons ou boîtes d'accouplement M, M.

Les vis de pression V, V, sont manœuvrées au moyen de clés coudées Y, Y.

Sur les cages est placé un cheneau XZ, que l'on maintient plein d'eau. Le

trop-plein s'échappe par un petit bec *u* dans des tuyaux RR, qui le conduisent hors de l'usine. Au cheneau sont adaptés de petits tubes *vx*, *vx*, par lesquels l'eau tombe continuellement sur les tourillons pour les rafraîchir. Cette dernière disposition s'applique souvent dans les forges à tous les gros tourillons, surtout lorsqu'ils sont fortement chargés. Ordinairement on perce dans le cheneau quelques petits trous par lesquels l'eau tombe sur les laminoirs. Par ce moyen, on les rafraîchit, et le fer subit, par l'action de l'eau, un décapage qui rend sa surface plus unie.

H, H, *fig.* 1, tablier en fonte placé du côté de l'entrée des cylindres, et représenté en plan par la *fig.* 15. Il porte à ses extrémités des tasseaux à équerre *s*, *s*, au moyen desquels et de boulons il s'assemble avec les tenons des cages, représentés par les *fig.* 4, 5 et 6.

Du côté de la sortie des cylindres est une plaque faisant fonction de *gardes*, et dont les languettes s'engagent dans les cannelures, ainsi qu'il a été indiqué pour les laminoirs dégrossisseurs.

n, *n*, *fig.* 3 et 4, coussinet inférieur; S, S, bloches en fonte portant les coussinets latéraux *i* et *g* des tourillons des deux cylindres; T, empoise à fourche portant le coussinet *h* du tourillon supérieur; U, chapeau garni de son coussinet de pression *k*. Tous les coussinets sont en bronze.

Les montans de cage sont traversés par des mortaises *cc*, *fig.* 1, 3 et 5, dans lesquelles passe une forte barre en fer *bb*; cette barre traverse les bloches et l'empoise, et empêche ainsi ces pièces de se mouvoir latéralement. La barre est soutenue à la hauteur convenable par des coins *dd*, qui la font courber légèrement.

ll, *fig.* 1 et 3, boulons de pression des bloches, dont les écrous sont encastrés de leur épaisseur dans les montans de cages; *l'*, *l'*, *fig.* 4, 5 et 6, passages de ces boulons et logemens de leurs écrous.

mm, *fig.* 3, 4 et 5, évidemens pratiqués dans les montans, et ouverts du côté extérieur des cages, pour recevoir les chapeaux U, U.

n, *n*, *fig.* 7 et 8, élévation et plan d'un coussinet de base.

S, S, *fig.* 9 et 10, vue de face et coupe longitudinale d'une bloche; *r*, *r*, mortaise traversée par la barre *bb*, *fig.* 3; *g*, *i*, coussinets latéraux.

U, U, *fig.* 11 et 12, élévation et plan de l'un des chapeaux de cage, avec son coussinet *k*.

T, T, *fig.* 13 et 14, vue de face et de côté de l'empoise à fourche.

M, *fig.* 16, manchons d'accouplement des trèfles et des allonges. Ces manchons ont un jeu de 3 à 4 millimètres tout autour des trèfles et allonges, afin de se prêter aux petites différences de niveau ou aux déviations latérales qui peuvent avoir lieu dans les axes des cylindres. Leur écartement est maintenu par des tringles en bois liées autour des allonges, comme l'indique la Planche suivante.

P, *fig.* 18, pignon vu moitié par bout et moitié en coupe transversale. Il a quinze dents, qui sont encastrées de leur demi-longueur par des joues *jj*, vues par-devant, *fig.* 17.

PLANCHE 24.

Laminoirs à petits fers (petit mill) et à tringles (gid-rolls) des forges de Terrenoire (Loire); échelle de $\frac{1}{12}$.

Les laminoirs à petits fers, ou petits laminoirs, sont destinés à fabriquer des fers plats, carrés et ronds, de petit échantillon, que l'on désigne sous le nom de *fers petite forge*. Les laminoirs à tringles servent, comme leur nom l'indique, à faire de la tringle ronde et carrée de moins de 4 lignes.

Les *fig.* 1 et 2 représentent deux trains de laminoirs CCC, C'C'C', à petits fers carrés et plats, mis en communication au moyen des allonges et manchons L et M. Le mouvement leur est imprimé par une roue d'engrenage X, dont l'arbre porte un manchon fixe à griffe Z. Une allonge à tourillon L', soutenue par un support B', porte deux manchons mobiles, l'un à griffes Z', s'embrayant avec le premier, et l'autre M, qui saisit à la fois l'allonge et le trèfle d'un pignon P, placé entre deux autres de même dimension, dans les cages B, B. Au moyen de manchons et d'allonges, ces pignons font marcher les cylindres placés à même hauteur qu'eux.

Chaque train ou jeu de laminoirs est composé de trois cylindres. Les diamètres de ces cylindres sont assez souvent égaux lorsqu'ils sont cannelés pour fers ronds et carrés; mais plus ordinairement ils diffèrent entre eux. Cette différence existe toujours lorsque les cylindres sont cannelés pour fers plats, tant à cause du croisement des cannelures, que parce qu'il en résulte plus de facilité pour le dégagement du fer à sa sortie des cylindres (*voyez* le texte).

Les laminoirs à tringles se placent ordinairement à la suite des petits laminoirs, qui leur servent de préparateurs. La *fig.* 3 indique cette disposition. A, représente la dernière cage des petits laminoirs, dont les cylindres inférieurs transmettent le mouvement à une première paire *c*, *c* de laminoirs à tringles, au moyen d'allonges L et de manchons M et *m'*; cette première paire en fait mouvoir une seconde *c'*, *c'*, par des moyens semblables.

La *fig.* 4 est un plan de laminoir à tringles, représentant d'un côté une cage *aa* sans ses cylindres, et de l'autre une cage garnie vue par-dessus.

La *fig.* 5 est une coupe verticale suivant la ligne 5, 6 de la *fig.* 4.

La *fig.* 6 est une coupe suivant la ligne 1, 2, *fig.* 2, dans laquelle on a supprimé les cylindres et ponctué seulement les garnitures de la cage, afin de laisser voir les diverses parties de cette dernière.

La *fig.* 7 est une coupe de la cage suivant la ligne brisée 3, 4 de la *fig.* 6.

A A, *fig.* 1, 2 et 6, cages en fonte renflées en D, D, pour recevoir les écrous des vis de pression V. Elles ont aussi, à leur partie supérieure, des renforts latéraux, pour éviter la rupture dans les angles. E, E, patins dans lesquels est ménagé un trou de boulon, pour fixer la cage sur la plaque ou sur le bâtis inférieur.

Chaque montant porte intérieurement une rainure R, *fig.* 6 et 7, pour recevoir les barres de support du tablier et

des gardes; et extérieurement une languette T, contre laquelle s'appuient les supports de coussinets.

Les garnitures d'une cage sont : l'empoise ou porte-coussinet inférieur N, *fig.* 6; les bloches S, S, qui portent les coussinets latéraux; les tourillets Q, Q, sur lesquels sont fixés les coussinets inférieurs des cylindres supérieurs, et le chapeau U, qui porte le coussinet supérieur ou de pression.

Les bloches sont élevées à la hauteur nécessaire par des cales en bois *n*, *n*; elles sont appliquées contre les tourillons G, G, par des vis de pression *p*, *p*, *fig.* 1, qui servent à placer les axes des cylindres dans un même plan vertical; et poussées dans le sens des tourillons par d'autres vis de pression *r*, *r*, *fig.* 1 et 2, au moyen desquelles on fait coïncider parfaitement les cannelures des cylindres destinés à fabriquer des fers ronds et carrés.

$p' p'$, *fig.* 6 et 7, sont les passages des boulons *p*, avec logement pour leur écrou; r', r', des passages semblables dans les languettes T.

Les cages de pignons et cylindres sont placées sur de fortes plaques en fonte KK, *fig.* 1, 2 et 6. Ces plaques portent des rebords ou ergots NN, entre lesquels sont calés les patins EE. On les allège par des évidemens *u*, *u*, *fig.* 2 et 6. Elles portent latéralement des oreilles saillantes *o*, *o*, *fig.* 1 et 6, au moyen desquelles on les boulonne sur une charpente inférieure, comme on le verra Pl. 25.

N et N', *fig.* 8, élévation et plan d'un support inférieur de coussinet ou empoise.

Q et Q', *fig.* 9, élévation et plan d'un tourillet, ou traverse porte-coussinet.

U et U', *fig.* 10, mêmes projections d'un chapeau; S et S', *fig.* 11, mêmes projections d'une bloche.

Toutes ces pièces sont en fonte, et portent des échancrures qui viennent se placer contre les languettes des cages. Tous les coussinets sont en bronze.

M, *fig.* 12, plan d'un manchon avec son allonge L, ou coupe suivant la ligne 7, 8, *fig.* 2. On laisse au manchon, tout autour de l'allonge, un jeu d'environ 5 millimètres, pour obvier aux fractures que pourrait occasioner le dérangement des cylindres.

Les petits laminoirs ont, à leur cylindre inférieur, un tablier et des gardes dont on verra la disposition dans la Planche suivante.

a, *a*, *fig.* 3, 4, 5 et 13, montans de cages de laminoirs à tringles, coulés avec la semelle *e e* qui les porte. Les cages sont fixées, au moyen de coins, sur une plaque *k k*, entre les ergots *n*, *n*; et des oreilles *o*, *o* servent à boulonner la plaque sur la charpente de fondation.

b, *b*, *fig.* 3 et 4, chapeaux des cages. Ils sont fixés par des boulons à clavette *x*, *fig.* 15, logés dans les montans, et ayant des écrous à embase *q*. Pour empêcher ces écrous de se desserrer par le mouvement des cylindres, on les embrasse par de doubles clés *d*, *d*, *fig.* 4 et 5.

i, *i*, *fig.* 13, coquilles en bronze vues séparément en plan et élévation, *fig.* 14. Elles s'appliquent dans les feuillures des cages, et sont poussées dans le sens des tourillons par des vis de pression $q' q'$, *fig.* 4 et 13.

h, *fig.* 3 et 5, support de tablier boulonné aux montans de cages; *t*, *t*, *fig.* 3, 4 et 5, petit tablier en tôle placé du côté de l'entrée des cylindres. Ce tablier étant très léger, on peut le loger simplement

dans des entailles faites au burin dans les montans.

Fig. 16, *b*, *b*, élévation et plan d'un chapeau de cage.

Fig. 17, *y*, *y*, clé avec laquelle on serre ou desserre les écrous.

Fig. 18, vue par bout d'un cylindre; *fig.* 19, vue de face de la même pièce; *c*, table du cylindre; *g*, *g*, ses tourillons; *f*, *f*, ses trèfles.

Fig. 20, plan d'un manchon à double ouverture *m'*, *fig.* 3, pour relier les allonges L des petits laminoirs avec les trèfles des laminoirs à tringles.

Les allonges *l* et les manchons d'accouplement *m* se font quelquefois en fer. Dans ce cas, on façonne les manchons en forme de trèfle, sur un mandrin un peu plus fort que les trèfles de cylindres.

PLANCHE 25.

Détails et tracés de laminoirs.

Dans cette Planche, toutes les figures qui se rapportent au tracé des cylindres sont cotées en lignes (anciennes mesures françaises); les autres figures sont cotées en mesures métriques.

Fig. 1, coupe transversale d'un jeu de petits laminoirs, à l'échelle de $\frac{1}{11}$. Cette figure indique la position du tablier *t t*, placé du côté de l'entrée des cylindres inférieur C' et femelle C; les gardes inférieures *g g* s'appuyant sur le cylindre C' et les gardes supérieures *g' g'*, dont les extrémités s'engagent dans les cannelures du cylindre femelle. Les gardes, ainsi que le tablier, reposent sur des barres de fer *h*, *h*, *h*, maintenues dans les rainures R R des cages.

Fig. 2, coupe suivant la ligne 1, 2 de la *fig.* 3; *fig.* 3, vue en dessus d'un cylyndre inférieur C', avec ses gardes *g*, *g* et *f*; *fig.* 4, coupe suivant la ligne 3, 4 de la *fig.* 3. Toutes ces figures sont à l'échelle de $\frac{1}{11}$, comme les laminoirs marchands, Pl. 23.

g, *g*, *fig.* 2 et 3, gardes séparées en fer ou en forte tôle, dont les bouts, engagés dans les cannelures, sont coupés en languettes; en sorte que ces pièces se touchent presque, et que le fer ne peut passer entre elles en sortant des cannelures. Ces gardes sont maintenues sur la barre *h* au moyen de deux tenons rivés, traversés par une clavette.

f f, *fig.* 3 et 4, garde simple en fer. Elle repose simplement sur la barre *h*, et un tenon ou épaulement rivé *i* l'empêche de se déplacer.

Les gardes séparées, disposées de l'une ou l'autre des manières indiquées précédemment, ne s'appliquent qu'aux laminoirs à fers plats. Pour les autres, on fait usage de plaques de gardes en fonte ou en tôle, dont les languettes s'engagent dans les cannelures, ainsi qu'on l'a indiqué pour les laminoirs dégrossisseurs.

Fig. 5, pignon P de petit laminoir, vu moitié par bout, moitié en coupe transversale; *fig.* 6, plan du même pignon; échelle de $\frac{1}{11}$. *c c*, joues emboitant les dents du pignon dans la moitié de leur longueur; *e e*, embases ou épaulemens des tourillons *t*; *f*, trèfles destinés à recevoir les manchons.

Fig. 7 et 8, élévation antérieure et coupe par l'axe d'un manchon à griffes Z du petit laminoir, Pl. 24. *a*, *a*, *a*,

griffes ou crans du manchon. On emploie des manchons de même genre pour les laminoirs marchands; mais comme ils sont de plus grande dimension, ils ont ordinairement quatre griffes.

Fig. 9 à 11, échelle de $\frac{1}{11}$, détails d'une fosse de laminoirs recouverte d'une plaque ou lit de cages.

Fig. 9, coupe transversale de la fosse suivant la ligne 5, 6, 7, 8 de la *fig.* 10.

Fig. 10, coupe longitudinale ou suivant la ligne 9, 10 de la *fig.* 11.

Fig. 11, plan d'une fosse recouverte d'un lit de cages.

Chaque côté de fosse est garni d'une charpente en chêne, posée sur un bon massif de maçonnerie, et murée sur tout son pourtour.

A A, longuerines assemblées à entailles réciproques, sur des semelles ou traverses S, S, dont les bouts s'engagent dans les maçonneries. Ces pièces sont reliées entre elles par de forts boulons *b b*.

B, B, poteaux maintenus latéralement par des croix de saint André CC, CC. Chaque croix est composée de deux pièces, assemblées à mi-bois par un boulon *n*.

D D, sommier recouvrant les croix et les poteaux, avec lesquels il est assemblé à tenons et mortaises.

d, d, boulons de 0m03 de diamètre, reliant entre eux les sommiers et les longuerines.

E, E, entre-toises pour maintenir l'écartement des sommiers. Elles sont embreuvées seulement par les bouts, et des boulons *r, r* consolident l'assemblage.

N N, lit de cages fixé sur la charpente par des boulons à clavettes *l l*, qui traversent les sommiers, et par de petits boulons à tête *m, m*, qui traversent les entre-toises. Cette plaque a des évidemens OO, pour l'alléger, et porte de longues rainures F F, dans lesquelles passent les boulons qui fixent les patins des cages. Au moyen de ces rainures, on peut varier l'éloignement des cages selon la longueur des cylindres.

q q, nervures ou ergots bordant les longs côtés du lit, et entre lesquels se calent les patins des cages.

s, s, parties planes pour servir d'appui aux écroux des boulons *l l*.

Le dessous des longuerines se garnit en briquetage, dans lequel on réserve de petites niches à chaque emplacement de boulon. Ce briquetage est remplacé par un fort tasseau en bois T, T, sous les poteaux intermédiaires.

Fig. 20, Q, plan d'une plaque à dresser les fers; Q', vue de cette plaque par bout.

Les *fig.* 12 à 17 se rapportent au tracé des laminoirs ordinaires; les *fig.* 18 et 19, aux tracés de laminoirs pour rails de chemins de fer et pour fers profilés ou à moulures. On trouvera dans le texte (Section III, *des Laminoirs*) les explications relatives à ces diverses figures.

PLANCHE 26.

Fours à réchauffer les tôles, des usines de Charenton (Seine) et Terrenoire (Loire); échelle de $\frac{1}{40}$.

On se sert, pour fabriquer les tôles, de fours à réverbère de deux espèces différentes. Les premiers, que l'on emploie pour chauffer les bidons ou maquettes avant leur passage au laminoir, sont des fours à réchauffer ordinaires;

les autres, qui servent à réchauffer les tôles pendant le laminage et à les recuire après, ont des dispositions particulières, que l'on va faire connaître.

Les *fig.* 1 à 5 représentent un four de tôlerie de l'usine de Charenton, servant principalement pour la fabrication des tôles de chaudières à vapeur.

Fig. 1, coupe longitudinale passant par le milieu du four.

Fig. 2, coupe horizontale du four suivant la ligne 1, 2, 3, 4 de la *fig.* 1, montrant à découvert la sole SS et la grille Q Q.

Fig. 3, coupe transversale suivant la ligne 5, 6, 7, 8, 9, 10 de la *fig.* 2, indiquant les passages qui conduisent à la cheminée et les colonnes de support de cette dernière.

Fig. 4, élévation du four par-devant.

Fig. 5, coupe horizontale suivant la ligne 11, 12 de la *fig.* 4, indiquant les tuyaux de cheminées et le plan de la disposition du levier avec lequel on manœuvre la porte du four.

M M, *fig.* 1 et 3, massif de fondation de la cheminée.

C, C, *fig.* 1, 2 et 3, colonnes creuses en fonte, boulonnées sur une forte plaque L L, posée sur le massif de fondation. Ces colonnes servent de support à la cheminée FF, qui s'élève au-dessus du four, et sont recouvertes de plaques en fonte D D, E E, qui forment le cadre sur lequel la cheminée est construite de la même manière que celles des fours précédemment décrits.

Q, *fig.* 1 et 2, grille du four avec son cendrier U, et son tisard ou gueulard T.

A, autel ou pont de chauffe séparant le foyer du reste de la capacité du four.

SS, sole en briques réfractaires posées de champ. Elle est, ainsi que la chauffe, recouverte par une voûte en briques réfractaires VV, *fig.* 1 et 3, légèrement cintrée dans le sens transversal.

K, *fig.* 1 et 2, maçonnerie fermant le four par-devant, et dans laquelle est réservée la baie O de la porte.

I, I, *fig.* 1, 2 et 3, languette se raccordant à la voûte du four, et laissant en dessous un passage voûté O'. Entre cette languette et la maçonnerie de face K, existe un passage *a*, qui se raccorde avec le tuyau *c* de la cheminée, au moyen d'une espèce de trémie *b*.

C'est par ce passage que s'échappent la flamme et la fumée, et la languette I a pour but de forcer la flamme à s'infléchir vers la sole, afin qu'elle la chauffe également dans toute son étendue.

Sur le devant de la cheminée est construite une fausse cheminée ou évent *c'*, *fig.* 1, 4 et 5, qui ne s'élève qu'un peu au-dessus de la toiture. Son but est d'établir un tirage pour la flamme et les étincelles qui peuvent franchir la porte lorsqu'elle est ouverte, et qui, sans cela, incommoderaient les ouvriers. La maçonnerie G, qui forme cet évent, repose sur une traverse en fonte *t*, *t*, qui s'appuie sur la maçonnerie du four.

P, *fig.* 1, 2, 4 et 5, porte du four glissant sur son cadre *p*, et reposant sur une plaque de fonte *e e*. Deux leviers *l* et *l'*, *fig.* 1, 4 et 5, adaptés sur un axe commun *d*, servent à manœuvrer la porte. Les supports *s*, *s* de cet axe sont boulonnés sur la traverse *t t*.

R, R, *fig.* 2, parois réfractaires du four.

Tout l'extérieur de ce four est armé en plaques de fonte, maintenues par des montans dont le pied est encastré dans la maçonnerie de fondation, et qui sont reliés entre eux, à la partie supérieure, par des tiges à boulons, ainsi qu'on l'a déjà vu pour les fours précédens.

Fig. 6 à 10, *four de tôlerie de l'usine de Terrenoire*, servant à fabriquer des tôles de toutes dimensions.

Fig. 6, coupe longitudinale du four suivant la ligne 15, 16, *fig.* 2.

Fig. 7, coupe faite au-dessus de la sole, suivant la ligne 13, 14 de la *fig.* 1.

Fig. 8, coupe transversale passant par la ligne 17, 18 de la *fig.* 7.

Fig. 9, élévation du four par-devant.

Fig. 10, plan de la partie antérieure du four vue par-dessus, ou suivant la ligne 19, 20 de la figure précédente.

Aux proportions près, la construction de l'intérieur de ce four est semblable à celle du précédent; et les mêmes parties étant désignées par les mêmes lettres, il suffit d'entrer dans la description des dispositions différentes.

La cheminée est placée à côté du four, afin qu'elle puisse servir au besoin à un second four placé symétriquement au premier.

Au lieu de faire usage d'une languette pour obliger la flamme à se rabattre sur la partie antérieure de la sole, on a pratiqué, des deux côtés de l'extrémité de cette dernière, des carnaux *a a, a' a' a'*, *fig.* 6, 7 et 8, par lesquels les produits de la combustion se rendent dans le tuyau *c c* de la cheminée. Le carnau *a' a'*, pris latéralement dans l'épaisseur des parois du four, passe ensuite par-dessus, comme l'indique la *fig.* 8.

L'évent *c', c'*, *fig.* 6 et 10, ne s'élève pas au-dessus de la hauteur du four, et cela est suffisant pour préserver les ouvriers. Le briquetage G qui le forme est porté par une barre de fer cintrée *t t*, *fig.* 6 et 9.

Le levier de manœuvre *l l* de la porte, *fig.* 6, 9 et 10, s'abat latéralement, ce qui est plus commode pour le service.

Le four est armé par des montans en fonte, et n'a qu'une seule plaque d'armature au bout, du côté de la chauffe; mais trois de ces montans sont remplacés par des barres de fer verticales *f f*, *fig.* 7 et 10, logées dans la maçonnerie, et auxquelles viennent s'accrocher des plates-bandes en fer *m n, m n*, de chaque côté de l'évent. Ces plates-bandes, boulonnées à des montans correspondans, maintiennent le four, et portent en outre les supports *s*, *fig.* 9, du levier *l l*.

La disposition générale du four de Terrenoire est celle que l'on adopte pour les fours jumelés. Celle du four de Charenton ne convient qu'à un four isolé, et on ne l'adopte d'ordinaire que lorsque l'espace manque latéralement pour élever la cheminée, à moins qu'on ne veuille avoir une construction d'un meilleur effet.

PLANCHE 27.

Laminoir à coins pour la tôle, de l'usine de Seraing (Belgique); échelle de $\frac{1}{12}$.

Les laminoirs à tôle sont ordinairement montés dans de fortes cages en fonte, munies de vis de pression verticales, comme dans les laminoirs dégrossisseurs ou marchands; mais lors des premiers passages des plaques, le laminoir supérieur devant se lever beaucoup, il en résulte, contre les filets de vis et d'écrous, un choc violent qui les refoule, rend la manœuvre des vis difficile, et

fait quelquefois briser les écrous. C'est pour éviter cet inconvénient que M. Coquerill a adopté les coins de pression, au lieu de vis verticales. Ainsi qu'on le voit par la *fig.* 2, ces coins sont poussés ou tirés au moyen de vis horizontales, que l'on manœuvre avec une double manivelle.

La *fig.* 1 représente en élévation l'ensemble des cages en fonte, garnies de leurs cylindres L, L et de leurs bascules NKM.

La *fig.* 2 est une élévation latérale extérieure d'une cage garnie de tous ses coussinets et coins. Les branches K, K du levier de bascule sont coupées, pour laisser voir leur assemblage avec les chapes de suspension HH.

Fig. 3, coupe d'une cage suivant la ligne 1, 2, *fig.* 2.

Fig. 4, 5, coupe suivant la ligne brisée 3, 4, 5, *fig.* 2, toutes les pièces qui ne font pas partie de la cage étant enlevées. La *fig.* 4 indique la coupe passant par l'axe de la vis de pression, et la *fig.* 5 celle de l'un des montans de cage.

Fig. 6, coupe suivant la ligne 7, 8 de la *fig.* 2, indiquant les sections des tiges et chapes de suspension, ainsi que le plan d'un levier de bascule avec ses contre-poids.

AA, *fig.* 1 à 4, cages de laminoirs dont les montans portent, à leur partie supérieure, un renflement pour recevoir l'écrou des vis de pression. B, B, patins des cages, percés de trous pour les boulonner, soit sur une charpente, soit sur un *lit* ou plaque en fonte. Les cages sont maintenues à distance convenable au moyen de quatre grands boulons à deux écrous CD, *fig.* 1.

GG, *fig.* 1 et 3, vis de pression manœuvrées par de doubles manivelles EF.

a, a, fig. 1, 2, 3 et 5, rondelles en fonte coulées avec les cages, et dont la surface est dressée pour servir d'appui aux écrous des boulons CD.

S, S, *fig.* 3 et 4, trous cylindriques percés dans les renflemens des cages, pour le passage des vis de pression.

Q, Q, ponctuée *fig.* 2, et vue en coupe *fig.* 4, mortaise pratiquée dans l'épaisseur des renflemens, pour y loger les écrous *g, g* des vis de pression.

R, R, *fig.* 2, 3 et 5, rainures ménagées à l'intérieur des cages, dans lesquelles se place une forte barre de fer, pour attacher et soutenir les tabliers qui s'adaptent des deux côtés des cylindres, ainsi qu'on l'a indiqué pour les laminoirs dégrossisseurs. Ces tabliers sont des plaques rectangulaires de 50 à 60 centimètres de largeur, pour recevoir les plaques de fer avant et après le laminage. On les prolonge ordinairement de chaque côté par deux chevalets en fer de la longueur des plus grandes feuilles, et espacés suivant la largeur des diverses tôles. A cet effet, ces chevalets sont mobiles et peuvent être placés à volonté : la Pl. 28 fait voir leur disposition.

ff, fig. 2 à 5, coulisses de coussinet de l'un des tourillons de laminoir inférieur; *v, v,* logemens des épaulemens de ce coussinet.

h, h, fig. 2, 4 et 5, renforts à la base des montans de cages, pour recevoir les coussinets latéraux *i, i* des mêmes tourillons. La *fig.* 2 fait voir la forme du logement *i'* de ces coussinets.

Les renforts *h, h* sont percés de trous verticaux N', N', pour donner passage aux tiges-supports N, N des bascules, *fig.* 1 et 2.

T, T, *fig.* 2 à 5, feuillures placées à l'extérieur des cages, pour servir d'arrêt aux porte-coussinets des tourillons supérieurs.

Y, *fig.* 2, plaque de support en fonte portant le coussinet inférieur *m*. Cette plaque repose sur les tiges-supports N, N. *n*, *n*, bloches portant les coussinets latéraux *o*, *o*. Ces bloches reposent sur des cales en bois ou en fonte *l*, *l*, qui les élèvent à la hauteur convenable. U, chapeau porte-coussinet. Toutes ces pièces sont indépendantes des cages.

Sur le chapeau U est posée une plaque à coulisse V V, qui reçoit le coin X, au moyen duquel s'effectue la pression sur les cylindres.

I, I, *fig.* 2 à 5, oreilles coulées avec cages, et auxquelles s'assemblent les chapes de suspension H, H des bascules, au moyen de boulons à clavettes.

K, K, *fig.* 1 et 2, leviers de bascules, portant à leur extrémité une tige de suspension M; cette tige est terminée par une rondelle sur laquelle reposent les contre-poids P, P. Ceux-ci sont réglés de manière à faire à peu près équilibre au poids du cylindre supérieur du laminoir, de manière qu'après le passage des plaques ou des feuilles, il retombe doucement sur le cylindre inférieur.

Fig. 7, vue de face; *fig.* 8, vue de profil d'une manivelle double E F.

Fig. 9, vis de pression en fer; G, tête de la vis vue par bout, *fig.* 10; *b*, épaulement contre lequel s'appuie la manivelle; *c*, gorge creusée dans le bout de la vis, pour son assemblage avec le coin de pression.

Fig. 11, coupe de l'écrou *g*; *fig.* 12, plan de la même pièce.

Fig. 13, X, vue latérale du coin de pression; X′, plan de la même pièce, et X″, vue par bout du côté où s'adapte la vis; *s*, logement du bout de la vis; *d*, *d*, clavettes qui embrassent la gorge du bout de la vis et la lient au coin, en lui permettant de tourner en tous sens. La *fig.* 2 indique cet assemblage.

Fig. 14, V V, élévation latérale de la plaque à coulisses sur laquelle repose le coin; V′ V′, plan de cette plaque. Elle se compose d'une semelle *q q* et de deux liteaux *r r*, qui emboîtent le coin.

Fig. 15, U, élévation du chapeau portant le coussinet supérieur *p*; U′, plan de cette pièce. Sa partie supérieure forme un plan incliné *q q*, sur lequel repose la pièce précédente, emboîtée entre deux rebords saillans *r′ r′*.

Fig. 16, Y et Y′, élévation et plan de la plaque de support à coussinet.

Fig. 17, Z, Z′ et Z″, vue latérale, plan, et élévation intérieure d'une bloche *n n*. Le coussinet en cuivre *o* porte deux oreilles *t*, *t*, qui l'empêchent de se mouvoir latéralement dans la bloche. Cette disposition permet de caler au besoin entre la bloche et le coussinet, pour faire serrer ce dernier contre le tourillon, sans le faire appuyer contre le cylindre.

Toutes les pièces représentées par les *fig.* 14 à 17 portent des échancrures *q*, qui viennent s'appuyer contre les feuillures T, T des cages, en sorte qu'elles ne peuvent se déranger de leur position lorsque les cylindres sont en place.

Fig. 18, *v e v*, *v′ e′ v′*, élévation et plan d'un coussinet inférieur.

Fig. 19, H et H′, vues de face et de côté d'une pièce de chappe des bascules.

Fig. 20, N et N′, vues de face et de côté d'une tige-support de bascule.

Fig. 21, M et M′, vue d'une tige de suspension des contre-poids.

Fig. 22, O et O′, coupe et plan d'une rondelle en fonte de contre-poids. Ces rondelles s'appliquent l'une sur l'autre, comme l'indique la *fig.* 1, en tournant les échancrures de sens et d'autre. Chaque

rondelle porte en relief une partie carrée qui s'emboite dans le creux correspondant de la rondelle suivante, en sorte qu'elle ne peut glisser, quelque mouvement que fasse sa bascule.

PLANCHE 28.

Laminoir à tôle, à colonnes, des forges de Terrenoire (Loire); échelle de $\frac{1}{15}$.

Dans les laminoirs à colonnes, la pression se répartissant sur quatre écrous dont les filets sont très forts, l'inconvénient du refoulement signalé dans la précédente description est extrêmement rare, si les écrous sont confectionnés en bronze de bonne qualité, et qu'ainsi que les vis des colonnes, ils soient filetés avec soin.

Le laminoir représenté par la Pl. 28 marche depuis 1823, et n'a pas exigé jusqu'à présent de réparations bien considérables.

Fig. 1, élévation du laminoir du côté de la sortie des tôles, avec les pignons P, les allonges et les manchons qui établissent la communication de mouvement.

Fig. 2, élévation latérale du laminoir.

Fig. 3, coupe transversale suivant la ligne 1, 2 de la *fig.* 2.

Les autres figures représentent les détails de diverses pièces, à la même échelle que les ensembles.

A A, socles en fonte boulonnés solidement sur leur lit de même métal.

C C, colonnes en fer forgé, engagées dans les socles, et dont la partie supérieure V est filetée. Les filets de vis ont 13 millim. d'épaisseur et autant de profondeur.

L, L, cylindres de laminoir, coulés en coquille, et de forme parfaitement cylindrique.

B, B, chapeaux en fonte enfilés sur les colonnes, et reposant sur les tourillons du cylindre supérieur. Ils sont traversés par un étrier à vis, en fer, *ll*, *fig.* 2 et 17, qui embrasse le tourillon en le serrant légèrement. Sur le centre de leur surface supérieure est un fort piton en fer O, dans lequel s'engage le crochet S d'une tige de bascule K.

Il y a une bascule pour chaque chapeau; elle est en bois, posée sur la charpente du hangard de travail, et chargée de manière à faire à peu près équilibre au poids d'un chapeau, augmenté de la moitié de celui du cylindre. Par cette disposition, ce cylindre retombe doucement sur le cylindre inférieur après le passage des feuilles de tôle.

I, I, manchons cylindriques en fonte, coulant librement sur les colonnes.

a, a, rondelles en fer de 35 à 40 mill. d'épaisseur, placées sous les manchons I, pour recevoir le choc des chapeaux lorsqu'on engage les trousses entre les cylindres.

h, h, heurtoirs en fer forgé, placés dans des entailles réservées à la partie supérieure des chapeaux. Ils servent à imprimer le choc suivant l'axe des colonnes, ce qui n'aurait pas lieu si les chapeaux portaient directement sur les rondelles, parce que les écrous ne peuvent être toujours également serrés; les chapeaux prenant alors une position

oblique, la pression s'effectuerait sur un côté seulement des vis, et les filets pourraient en être refoulés.

D, D, embrasses en fer forgé, maintenant l'écartement des colonnes vers le bas, et servant en même temps d'appui aux guides et au tablier du laminoir. Elles sont appuyées sur des tasseaux en fer *t*, *t*, que l'on maintient autour des colonnes par une ligature en fil de fer.

G, G, *fig.* 1 et 3, gardes en fer s'appuyant sur le cylindre inférieur, et posées à fourchette sur l'embrasse postérieure.

H, H, chevaux ou chevalets en fer, retenus d'un côté sur les embrasses par des pates à clavettes, et appuyés de l'autre sur un dé en pierre ou une plaque de fonte enterrée dans le sol. Sur les chevalets antérieurs, ou du côté de l'entrée des cylindres, est fixée à boulons fraisés une plaque de fonte ou de forte tôle formant le tablier T. Les chevalets servent à recevoir les trousses ou paquets de tôle à l'entrée et à la sortie des cylindres.

Fig. 4, chapeau BB, vu du côté intérieur; *fig.* 5, même pièce vue en dessus, et *fig.* 6, vue en dessous; *fig.* 7, coupe suivant 3, 4 de la *fig.* 4; *bb*, *fig.* 4, 6 et 7, échancrure circulaire pour le passage de la table du cylindre, en lui laissant 2 à 3 cent. de jeu; *cc*, *fig.* 2, 6 et 7, échancrure extérieure arrondie pour le passage des manchons; *nn*, *fig.* 4 et 6, renfoncement pour loger l'embase du tourillon; *ii*, logemens des heurtoirs; *e*, *e*, *fig.* 5 et 6, trous des boulons d'étrier de bascule; *d*, *d*, passages des colonnes, de forme ovale, afin que les chapeaux puissent prendre une position oblique sans les serrer; *ff*, *fig.* 4, 6 et 7, logement du coussinet en bronze, portant un épaulement du côté intérieur.

A A, *fig.* 8, élévation d'un socle de colonnes; *fig.* 9, plan de la même pièce; *k*, logement du coussinet inférieur porte-tourillon.

Fig. 10, coupe d'une colonne C au-dessus d'une embrasse DD, indiquant comment cette dernière s'adapte à la colonne.

Fig. 11, élévation de l'un des cylindres L; *fig.* 12, vue par bout de la même pièce.

Fig. 13, plan d'une clé en fer pour tourner les écrous.

Fig. 14, *g*, vue de face d'un coussinet de chapeau; *g'*, coupe longitudinale du coussinet.

Fig. 15, E, élévation d'un écrou en bronze; E', plan de cette pièce.

Fig. 16, colonne de laminoir; le fût C est terminé par un pied conique qui s'engage dans les cônes des socles. On cale les colonnes dans les socles avec de petits coins de fer placés en dessus. L'extrémité V des colonnes est filetée en vis à filets carrés.

Fig. 17, vue latérale d'un étrier de bascule.

Fig. 18, *h*, élévation par bout d'un heurtoir; *h'*, plan de la même pièce.

Ce laminoir est mis en mouvement par la grande machine à vapeur de la forge, et fait 18 à 20 tours par minute.

PLANCHE 29.

Laminoir à cercles des forges de Terrenoire (Loire); échelle de $\frac{1}{15}$.

Les dispositions générales et particulières des laminoirs à cages étant énumérées avec détail dans les descriptions précédentes, et les laminoirs à cercles n'offrant que quelques modifications, on se bornera ici à parler de ces dernières.

La *fig.* 1 représente le laminoir vu par-devant ou du côté de l'entrée du fer; la *fig.* 2 est une élévation latérale, et la *fig.* 3 une coupe transversale suivant la ligne 1, 2, *fig.* 1.

Les cylindres C et C' sont semblables à ceux des laminoirs à tôle, et n'en diffèrent que par leurs moindres dimensions. Ils sont mis en mouvement par une paire de pignons disposés comme dans les laminoirs précédemment décrits.

Du côté antérieur du laminoir est une espèce de trémie en fonte GG, *fig.* 1 et 3, que l'on nomme *boîte d'entrée*. Cette boîte, représentée séparément en plan, *fig.* 12, et en coupe, *fig.* 13, est posée sur une barre de fer HH, *fig.* 1 et 3, et fortement calée entre les montans K, K, des cages. Cette boîte porte intérieurement, de chaque côté, deux coulisses *mm*, *nn*, *fig.* 12 et 13; dans les coulisses *m*, *m*, glisse verticalement une plaque en fonte *dd*, *fig.* 1 et 3, sur le devant de laquelle est appliquée une pièce en fer *cc*, ayant un biseau inférieur aciéré : cette pièce, que l'on nomme *lame mobile*, est en partie recouverte par une *bande de pression* en fer, qui sert à la fois de rosettes pour les boulons d'assemblage des pièces *b*, *d*, et de renfort pour empêcher la flexion du système.

Sur le fond de la boîte, et entre les coulisses, repose une forte *lame fixe ee*, aciérée, et ayant un biseau correspondant à celui de la lame mobile *cc*.

L'ensemble des pièces *b*, *c*, *d*, *e*, se nomme la *raclette*, et sert en effet à racler les surfaces du fer pour en faire tomber l'oxide avant qu'il passe entre les cylindres.

Pour manœuvrer cette raclette, on se sert d'un grand levier en fer DE, auquel sont attachées des tiges AB, AB, *fig.* 1 et 3, dont les chapes inférieures embrassent la plaque *dd*. Le point d'appui de ce levier est pris sur un support en fer *s*, *fig.* 1 et 2, et sa direction est maintenue par une tige à coulisse *fg*, *fig.* 1 et 3; le support et la tige à coulisse sont appliqués sur les montans des cages, et maintenus par un de leurs boulons d'écartement *aa* et par des clavettes. Une tige à étrier EF sert à soulever le levier et à exercer la pression.

Pour engager le fer *gr*, *fig.* 3, on élève la raclette, et lorsqu'il est pincé entre les cylindres, un ouvrier, engageant son pied dans l'étrier F de la tige EF, serre fortement la bande entre les biseaux des pièces *be*; le mouvement des cylindres l'entraîne, et la raclette frotte ainsi sur toute sa surface.

Afin que le fer soit engagé successivement sur toute la longueur de la table des cylindres, et l'use également, on place en avant de la boîte d'entrée une tige *directrice tt*, *fig.* 1 et 3; cette tige est fixée à boulon dans les coulisses *o*, *o*, *fig.* 21, du lit des cages, et on la fait marcher, selon le besoin, dans toute l'étendue de la cage. Le lamineur engage

son fer en l'appuyant contre la directrice, et l'empêche de s'en écarter en le pressant avec sa tenaille du côté opposé.

Détails sur même échelle. Fig. 4, élévation intérieure d'une cage; *fig.* 5, plan d'une cage vue en dessus; *fig.* 6, coupe suivant la ligne 3, 4 de la *fig.* 4; *fig.* 7, coupe horizontale d'un montant suivant 5, 6, *fig.* 6.

Fig. 8, élévation et plan d'un chapeau de tourillon.

Fig. 9, élévation et plan d'un support de tourillon supérieur.

Fig. 10, élévation et plan d'un porte-coussinet inférieur.

Fig. 11, élévation et plan d'un coussinet ou grenouille en cuivre des chapeaux de tourillons.

Fig. 14, *dd*, plaque en fonte de la raclette, vue de face; *d'*, vue de cette plaque par côté.

Fig. 15, *cc*, lame mobile de raclette, vue de face; *c'*, vue par bout. Elle est percée de trois trous oblongs, afin que l'on puisse l'ajuster avec plus de facilité sur la lame fixe.

Fig. 16, *bb*, bande de pression vue de face; *b'*, vue par bout de cette bande.

Fig. 17, élévation et plan du levier de pression DE.

Fig. 18, tige à coulisse du levier, vue de face en *fg*, et de côté en *f'g'*.

Fig. 19, AB, vue de face, et A'B', vue de côté de l'une des tiges de suspension de la raclette.

Fig. 20, *s*, vue de côté, et *s'*, vue de face du support du levier.

Fig. 21, plan d'une moitié de lit de cages, vu en élévation et coupe dans les *fig.* 1, 2 et 3.

Observation. Pour fabriquer les fers minces et de petites largeurs, que l'on nomme *rubans*, on se sert de laminoirs organisés absolument comme celui que l'on vient de décrire; seulement les cylindres n'ont ordinairement que 27 à 30 centimètres de table, et autant de diamètre.

PLANCHE 30.

Four de fenderie au bois des forges d'Aron (Mayenne), par M. Walter; échelle de $\frac{3}{100}$.

Les anciens fours de l'usine d'Aron occupant beaucoup d'espace, chauffant irrégulièrement avec une assez forte consommation de combustible, et leur vétusté exigeant d'ailleurs qu'ils fussent reconstruits, ils furent remplacés par les deux fours que représente cette Planche. Chacun d'eux peut recevoir 1500 kil. de fer à fendre, et, en marche ordinaire, ils ne consomment que 45 à 50 bourrées ou petits fagots de menu bois, pesant moyennement 4 kil. l'un, pour chauffer cette quantité de fer.

Fig. 1, plan d'un four en dessus, et coupe de la cheminée et des passages de fumée à la même hauteur ou suivant la ligne 3, 4 de la *fig.* 3.

Fig. 2, coupe du four au-dessus de la sole.

Fig. 3, coupe longitudinale d'un four suivant la ligne 1, 2, *fig.* 2.

Fig. 4, coupe transversale d'un four et d'une partie de la cheminée, suivant la ligne 5, 6 de la *fig.* 3.

Fig. 5, élévation par-devant de l'un des fours.

Fig. 6, plan de fondation de la partie antérieure des fours et de la cheminée; le reste de la fondation n'est qu'un massif de maçonnerie.

Fig. 7, coupe transversale suivant la ligne 9, 10 de la *fig.* 2.

Fig. 8, coupe transversale par la grille, ou suivant la ligne 11, 12, *fig.* 1.

Fig. 9, élévation latérale d'un four et de la cheminée.

La construction de ces fours est analogue à celle de tous les fours à réverbère, sauf que la grille G est plus basse relativement au pont de chauffe A, et de moindres dimensions que celles des fours à puddler ou à réchauffer. La sole SS, la voûte VV, ainsi que tout l'intérieur du four, sont construites en briques réfractaires; l'extérieur est en briques ordinaires. Les armatures se réduisent à des barres de fer verticales *ff*, *fig.* 4, 5 et 9, reliées, haut et bas, par des tirans à boucles *h*, *h*, serrées avec des clavettes, et à des bandes de fer horizontales *e*, *e*, encastrées de leur épaisseur dans la maçonnerie.

Ce qui distingue ce four de tous ceux qui sont en usage, c'est le système de tirage alternatif en-dessous et en-dessus de la sole SS. A cet effet, on a ménagé près du seuil de la porte un passage *aa*, *fig.* 2 à 4, communiquant avec le bas de la cheminée par une petite voûte D; et au sommet de la voûte du four, un autre passage *bb*, communiquant également avec la cheminée par un rampant F et par le passage H. La communication *a*D est constamment libre, mais la communication *b*FH est munie d'un registre *cd*.

Ce registre est manœuvré au moyen d'une chaîne qui passe sur deux poulies *q*, *q*, *fig.* 9, et porte un contre-poids O. La porte P du four est également manœuvrée au moyen d'une chaîne qui passe sur une grande poulie *p*, et vient s'attacher à la chaîne du contre-poids commun. On voit qu'ainsi la porte ne peut être soulevée sans que le registre le soit en même temps.

Voici maintenant le mécanisme du tirage : le four étant chargé et la porte baissée, le passage H est fermé, et la flamme est obligée de se rabattre sur le fer pour gagner la cheminée par le passage inférieur *a*D. Il résulte de cette disposition que la sole est chauffée dans toute son étendue, ainsi que le fer qu'elle porte, et que ce dernier acquiert une température très uniforme. Lorsqu'on lève la porte, le registre *cd* s'ouvre, et alors le tirage s'opère par le passage supérieur, ce qui est nécessaire pour que la flamme n'incommode pas l'ouvrier, soit en chargeant le four, soit en tirant les barres pour les porter à l'espatard et à la fenderie.

La cheminée NN est partagée en deux par une languette ou cloison LL, *fig.* 4 et 6, construite, comme tout l'intérieur RR, en briques réfractaires au moins jusqu'à 1 mètre au-dessus du passage H. Cette languette peut ne régner que jusqu'à cette hauteur, mais il n'y a aucun inconvénient à la continuer jusqu'au sommet de la cheminée, si les sections des gaînes I, I, sont déterminées convenablement.

La cheminée est montée sur linteaux en fonte, comme cela se pratique d'ordinaire, afin de pouvoir en réparer au besoin les parties inférieures. Ses armatures consistent en simples lamettes de fer, dont les bouts sont fendus et rabattus sur le parement extérieur; et ce mode de consolidation résiste très bien aux effets de la chaleur, malgré la faible épaisseur des parois.

On règle le tirage au moyen d'un registre *r*, placé sur la cheminée, et que l'on manœuvre au moyen d'un levier *k l* et d'une chaînette en bouts de fil de fer.

Au-dessous de chaque porte de four est une ouverture B, *fig.* 3, 5 et 6, par laquelle on retire les cendres qui tombent dans le passage inférieur de la flamme, et que l'on ferme ensuite par un petit muret en briques.

Fig. 10, élévation sur échelle double du cadre de la porte d'un four. Ses branches *m, n*, ont une longueur telle qu'elles se trouvent soutenues par les montans *ff*.

Fig. 11, coupe transversale de ce cadre, indiquant son épaisseur.

Nota. Par erreur, on a coté à 2 mètres la longueur d'une branche à l'autre, au lieu de 1 mètre.

PLANCHE 28.

Fenderie de l'usine de Terrenoire, près Saint-Étienne (Loire); échelle de $\frac{1}{10}$.

Quoique la fenderie dont on offre ici le dessin soit semblable, en général, à toutes les machines de même genre, cependant elle est plus simple dans sa disposition, et l'on y a supprimé quelques pièces embarrassantes ou superflues.

Fig. 1, élévation latérale de la machine du côté opposé à celui par lequel est transmis le mouvement.

Fig. 2, plan de la fenderie vue en dessus.

Fig. 3, élévation par-devant, c'est-à-dire du côté où l'on présente le fer.

Fig. 4, coupe horizontale suivant la ligne 1, 2 de la figure précédente, et montrant à découvert une partie de la trousse des taillans inférieurs.

Fig. 5, coupe transversale suivant la ligne 3, 4 de la *fig.* 4.

Fig. 6, coupe horizontale suivant la ligne 5, 6 de la figure précédente, et dans laquelle la trousse des taillans inférieurs est enlevée, pour mieux faire voir les pièces qui sont au-dessus.

Toutes les autres figures représentent séparément, et à la même échelle, les diverses pièces qui composent la machine.

B B, *fig.* 1 à 6, embases en fonte, coulées d'une seule pièce avec leurs semelles D D, et servant d'empoise à l'arbre des taillans inférieurs. Les parties coniques de ces embases sont percées concentriquement, pour recevoir la partie inférieure des colonnes C C, *fig.* 7. Les semelles D D, *fig.* 5, reposent sur une plaque ou lit en fonte L L, et y sont boulonnées solidement. Le lit est fixé sur une charpente de fondation analogue à celle des laminoirs. (Voyez Pl. 25.)

M, M, manchons en fonte, servant simplement de hausses, tant au-dessus des embases qu'au-dessous des écrous des colonnes.

S S, *fig.* 1 à 6, 10 et 11, pièces en fer forgé, que l'on nomme *seignes* ou *porte-vergettes de derrière;* elles sont à lunettes et enfilées dans les colonnes.

S′, S′, *fig.* 1 à 6, 12 et 13, *seignes de devant;* elles embrassent les colonnes, et ont leurs extrémités en forme de fer à cheval, de manière à pouvoir être placées et enlevées sans démonter les pièces supérieures.

J, J, *fig.* 1 à 6, 14 et 15, *tirans* ou *jumelles* en fer, placées entre les seignes,

à droite et à gauche de l'équipage des taillans inférieurs. Ces pièces ont une tète en forme de T du côté de l'entrée du fer, et sont percées d'une mortaise à l'extrémité opposée. Elles servent à maintenir l'écartement vertical des seignes, et à les appuyer contre les colonnes au moyen de clavettes de pression *d, d*.

FF, *fig.* 1, 3 et 5, empoise en fonte de l'arbre supérieur. Elle a la même forme et les mêmes dimensions que le chapeau.

h, h, h, mêmes figures, *fausses-rondelles* ou *fers-à-cheval* en fer et de diverses épaisseurs. Elles sont représentées séparément, en élévation et en plan, par les *fig.* 17 et 18, et servent à régler la hauteur des seignes inférieures et des empoises FF, selon le besoin.

GG, *fig.* 1, 2, 3, 5, 8 et 9, chapeau de l'arbre des taillans supérieurs, en fonte.

I, I, *fig.* 1, 3 et 5, rondelles percées, en fonte ou en fer, selon l'épaisseur qu'il est nécessaire de leur donner. Elles servent simplement de hausses.

H, H, *fig.* 1, 2, 3 et 5, *brides* ou *traverses* en fer forgé, servant à maintenir l'écartement des colonnes dans le sens parallèle aux arbres de taillans. Les empoises supérieures et les chapeaux remplissent le même but dans l'autre sens.

E, E, écrous en bronze pour serrer les chapeaux, et empêcher les arbres de s'écarter pendant le travail.

A, A, *fig.* 2 à 5, 21 et 22, arbres des taillans. On les fait ordinairement en fer forgé; cependant on les coule quelquefois en fonte, pourvu que celle-ci soit tenace. T, T, *trèfles*, remplacés souvent par des bouts carrés, par lesquels les arbres reçoivent le mouvement; *c, c*, *collets* ou *tourillons* de l'arbre. R, *rondelles fixes* ou *d'épaulement*, coulées avec l'arbre s'il est en fonte, soudées ou solidement goujonnées s'il est en fer.

Le mouvement est donné aux deux arbres, au moyen d'alonges et de manchons, par deux pignons semblables à ceux des laminoirs, et montés de la même manière.

t, t, *fig.* 2 à 5 et 19, taillans en acier trempé, montés sur l'arbre. Entre ces taillans sont placées des rondelles en fer *e, e*, vues séparément *fig.* 20, et que l'on nomme *entre-deux*. Les taillans et les entre-deux forment ce que l'on nomme une *trousse*, laquelle est terminée par une *rondelle mobile* ou de *serrage* R′, que l'on désigne aussi sous le nom de *garde*. Chaque trousse est assemblée par quatre boulons *b, b*.

Les taillans inférieurs et supérieurs ont un diamètre constant, quel que soit l'échantillon de fer à fendre; mais leur épaisseur, ainsi que celle des entre-deux, varie, ainsi qu'il est indiqué dans le texte.

On travaille quelquefois à *taillans battans*, c'est-à-dire sans que les trousses soient serrées par des boulons. Dans ce cas, les rondelles R et R′ sont mobiles, et les jumelles JJ, sont maintenues par des vis de pression latérales contre les grandes rondelles inférieures, en leur laissant le jeu nécessaire.

f, f, *fig.* 5, 6 et 16, *vergettes* en fer placées entre les taillants. Elles sont serrées légèrement entre les porte-vergettes: à cet effet, ceux-ci, comme on le voit par les *fig.* 5, 11, 12 et 13, sont taillés en biseau obtus mn, $m'n'$, pour recevoir les échancrures des vergettes. Ces pièces doivent être un peu plus minces que les entre-deux, et elles servent à diriger le fer vers la sortie, en même

temps qu'à l'empêcher de s'enrouler autour des taillans.

g, g, fig. 3 à 6, 14 et 15, *guides* en fer, assemblés par des boulons à tête fraisée sur les jumelles. Ils servent à diriger le fer sur les taillans, pour qu'il ne puisse se porter à droite ou à gauche, et produire des fausses-tailles ou rognures.

q, q, fig. 1, 4, 6 et 8, coussinets en bronze pour les tourillons d'arbres.

Fig. 23, projection latérale d'un arbre cylindrique; *fig.* 24, vue par bout du même arbre du côté du tourillon extérieur. Les mêmes lettres indiquent ici les mêmes parties que celles de l'arbre carré représenté par les *fig.* 21 et 22. On fait quelquefois, mais assez rarement, usage de ce genre d'arbre; dans ce cas, on y adapte une languette fixe *ll*, et les taillans, ainsi que les entre-deux et la rondelle de serrage R′, sont entaillés pour livrer passage à cette languette. L'assemblage des trousses se fait du reste comme à l'ordinaire.

La vitesse des taillans est de 66 tours par minute.

PLANCHE 32.

Fours de chaufferie.

Les *fig.* 1 à 4 représentent, à l'échelle de $\frac{22}{1000}$, un four de chaufferie employé dans la méthode galloise. Pour la description générale et les usages de ce four, voyez section VI de la II[e] Partie, pag. 131 à 133.

Fig. 1, coupe longitudinale du four suivant les lignes 7, 8 de la *fig.* 2.

Fig. 2, coupe horizontale du four suivant la ligne 1, 2 de la *fig.* 1.

Fig. 3, élévation du four. Dans cette élévation, on a supposé enlevées deux des quatre portes.

Fig. 4, coupe verticale suivant la ligne brisée 3, 4, 5, 6 de la *fig.* 2.

F, F, *fig.* 1 à 4, foyer principal, dans lequel les trousses, préalablement échauffées au rouge dans les chauffes A, A, sont amenées à la chaude soudante.

A, A, *fig.* 1, 2, chauffes préparatoires, dans lesquels la flamme pénètre par les ouvreaux B, B, *fig.* 1, 2, 4.

S, S, *fig.* 1 et 4, sole du foyer principal, en poussier de coke préalablement humecté et bien battu. La *fig.* 4 fait voir que cette sole est inclinée de la rustine au laiterol *l*.

S′, S′, *fig.* 1, soles des chauffes préparatoires. Ces soles sont faites en briques réfractaires, posées de champ.

G, G, *fig.* 2 et 4, plaque de fonte supportée par deux murets L, L. Cette plaque sert à recevoir le coke destiné à l'alimentation du four. Ce coke est introduit dans le foyer F par le tisard T.

T, T, *fig.* 1, 2 et 4, tisard. Le coke, placé en tas sur la plaque G G, est poussé à la pelle, et de manière à fermer toujours l'ouverture du tisard.

H, H, *fig.* 2, 3 et 4, plaque de fonte sur laquelle on pose les trousses à souder, et qui sert à les faire passer facilement des chauffes dans le foyer. Les *fig.* 2 et 3 font voir la disposition de la maçonnerie sur laquelle repose cette plaque.

O, O, *fig.* 2 à 4, baies des portes qui servent à l'introduction des trousses dans les chauffes et dans le foyer.

P, P′, *fig.* 2 et 3, portes en fonte,

garnies en briques réfractaires, et manœuvrées par des leviers à bascule.

I, I, *fig.* 3 et 4, muret qui ferme le devant du four On le démolit lorsqu'il est besoin de refaire la sole SS.

a, *a*, *fig.* 1 et 2, ouverture de tuyère pour recevoir la buse *b*, qui porte le vent dans le foyer.

m, *m*, *fig.* 2 et 4, saillies en briques réfractaires que l'on ménage dans le foyer pendant sa construction. Ces saillies sont destinées à recevoir le bout du gouver *n*, qui porte la trousse.

n, *n*, *fig.* 2 et 4, gouver ou barre de fer dont une extrémité a été forgée en spatule, de la dimension des trousses. Il sert à supporter ces dernières pendant qu'on les chauffe jusqu'au blanc soudant, et à les manœuvrer pendant l'étirage sous le marteau.

L'inspection des figures fait assez voir les dispositions des maçonneries et des diverses plaques d'armature, pour qu'il ne soit pas nécessaire d'étendre davantage cette description.

Four dormant à l'échelle de $\frac{11}{1000}$. Ce genre de four est employé en Belgique et dans les provinces rhénanes, pour chauffer le fer destiné à être fendu ou à être converti en tôle; mais dans la plupart des usines, on le remplace par un four à réverbère semblable à ceux représentés par les Pl. 26 et 30.

La cheminée des fours dormans n'est pas disposée pour produire un tirage, mais simplement pour enlever la fumée qui sort par la porte. On la place ordinairement sur le côté, et on la construit en briques; mais il est plus économique, pour la dépense et pour l'espace, de la placer sur le devant du four, et de la faire en tôle, comme l'indiquent les *fig.* 5 et 6. Le bas de cette cheminée est alors une simple hotte supportée par des armatures en fer.

Fig. 5, élévation du four.

Fig. 6, coupe longitudinale suivant 11, 12 de la *fig.* 7.

Fig. 7, coupe horizontale suivant la ligne 9, 10 de la *fig.* 5.

Fig. 8, coupe transversale suivant la ligne 13, 14 de la *fig.* 6.

Fig. 9, plan et élévation d'un barreau de la grille à une échelle plus grande.

Fig. 10, *p*, élévation, et *p'*, coupe de la porte du four. Cette porte est en tôle; elle se pose simplement contre le cadre de porte et sur la plaque d'appui. On la manœuvre avec un manche à crochet *q*.

D, D, *fig.* 6 à 8, foyer; C, C, cendrier; K, K, grille.

E, E, *fig.* 5 et 6, hotte en tôle pour évacuer les fumées. Cette hotte est supportée par un châssis en fer *c*, *c*. Les *fig.* 6 et 7 font voir comment ce châssis est lui-même disposé et scellé dans la maçonnerie du fourneau.

M, M, *fig.* 5 à 7, plaque en fonte pour armature de la porte.

N, N, ouverture pour le nettoyage du cendrier.

Q, Q, plaque en fonte pour servir d'appui ou de seuil à la porte du four. Elle est percée de deux trous *t*, *t*, pour l'assemblage des tiges *g*, *g*, qui supportent le châssis et la hotte.

PLANCHE 33.

Affineries et chaufferies à réverbère; échelle de $\frac{35}{1000}$.

Depuis quelques années, on a cherché à utiliser la chaleur perdue des foyers d'affinerie et de chaufferie, en l'employant soit à chauffer préalablement la fonte, soit à réchauffer les pièces et le fer en bidons pour les étirer. Après divers essais, on s'est arrêté à placer à la suite du foyer un four à réverbère à voûte surbaissée, et dont la capacité intérieure est traversée par les flammes de ce foyer. On a adopté ce mode soit pour travailler à l'air froid, soit pour se servir de l'air chaud, en élevant sa température au moyen de la chaleur du foyer même.

On a indiqué ici les dispositions qui sont aujourd'hui le plus généralement adoptées, et qui jusqu'à présent paraissent être les plus avantageuses.

Les *fig.* 1 à 5 représentent *une affinerie du système de celles de l'usine de Laufen, près Schaffouse,* disposée pour travailler à l'air froid à volonté.

Fig. 1, coupe longitudinale du foyer, de son four et de la cheminée qui contient les tuyaux à chauffer l'air, suivant la ligne 1, 2 de la *fig.* 2.

Fig. 2, coupe horizontale du foyer, du four et de la cheminée, prise au-dessus de la sole du four.

Fig. 3, coupe verticale de la cheminée suivant la ligne 3, 4 de la *fig.* 1. Cette coupe est destinée à faire voir la disposition des tuyaux pour le chauffage de l'air.

Fig. 4, coupe du four suivant la ligne 5, 6 de la *fig.* 2.

Fig. 5, coupe du four suivant la ligne 7, 8 de la *fig.* 2.

Fig. 10, coupe verticale, à l'échelle de [illegible], de deux tuyaux et de la portion de tuyau courbe par laquelle ils sont raccordés l'un à l'autre. Quant aux détails de l'assemblage des tuyaux, nous renvoyons à ce qui a été dit à ce même sujet lorsqu'il a été question du chauffage de l'air pour les hauts-fourneaux.

A, *fig.* 2 et 4, baie de la première porte du four. B, *fig.* 2 et 5, baie de la seconde porte. Les morceaux de gueuse en quantité nécessaire sont d'abord disposés sur la partie inclinée *sm* de la sole, où ils se préparent à la fusion comme dans les affineries ordinaires. L'affinage se fait dans le foyer F, à la manière habituelle. On profite de la chaleur dégagée par le foyer pour chauffer les bidons provenant du forgeage de la loupe précédente, et l'on introduit ces bidons, par la porte B, dans la partie *ms'* de la sole du four. Si, au contraire, on veut se servir du four et du foyer à usage de chaufferie, les pièces sont disposées par la porte A, sur la sole inclinée *sm*, pour commencer à les échauffer. Pendant ce temps, d'autres pièces sont mises sur le foyer F, et portées à la chaude soudante. Tout ce travail peut se faire sans gêner le réchauffage des bidons disposés sur la sole *ms'*, et les deux opérations peuvent marcher simultanément, puisque les pièces sont forgées au gros marteau et les bidons étirés au martinet.

C', C', *fig.* 1 à 3, cheminée. Cette cheminée reçoit les tuyaux I, K, L, M, disposés comme le montrent les *fig.* 1 et 3. Ces tuyaux sont supportés par les murets intérieurs D, D, *fig.* 2 et 3. Les

murets E, E, *fig.* 2 et 3, forment les parois extérieures de la cheminée. Les espaces compris entre E et D, et dans lesquels se logent les portions courbes qui raccordent les tuyaux, sont garnis de fraisil, pour s'opposer aux déperditions de chaleur. Les figures indiquent suffisamment les détails de construction et la disposition des diverses plaques d'armature de cette cheminée, et il n'est pas nécessaire d'entrer dans de plus amples explications à cet égard.

F, F, *fig.* 1 et 2, foyer de l'affinerie.

S, *m*, S', *fig.* 1 et 2, sole du four de chaufferie. La partie S*m*, que l'on nomme *banquette*, est inclinée de 0^m05, et la partie *m* S' est horizontale.

H, H, *fig.* 1 à 5, ouverture pour l'introduction de la flamme dans la cheminée.

I, *fig.* 3, coude de raccordement pour relier les tuyaux de chauffage au tuyau qui amène l'air froid fourni par la soufflerie. Les flèches indiquent le sens du mouvement de l'air.

G N, *fig.* 2 et 3, tuyau pour conduire l'air à la tuyère *t*. Lorsqu'on veut employer alternativement l'air chaud et l'air froid au travail de l'affinage, on substitue à la partie droite G N, un tuyau à embranchement pourvu d'un robinet ou de clapets, qui permet de faire usage de l'un ou de l'autre air à volonté.

V, V, *fig.* 1, voûte du four à réverbère. L'extrémité de cette voûte, du côté du foyer, est soutenue par une plaque de fonte *p*.

Affineries à réverbère de l'usine d'Audincourt (Doubs).

Elles diffèrent de celle que l'on vient de décrire d'abord en ce que les flammes de deux foyers d'affinerie sont amenées dans un four unique, et en second lieu parce qu'elles ne sont pas disposées pour le chauffage de l'air.

Fig. 6, coupe verticale du four à réverbère, suivant la ligne 13, 14, et d'une affinerie suivant la ligne 15, 16 des *fig.* 7 et 9.

Fig. 7, coupe horizontale du four et des deux affineries, suivant la ligne brisée 9, 10, 11, 12 de la *fig.* 9.

Fig. 8, élévation de la face de travail des deux affineries accouplées.

Fig. 9, coupe verticale des affineries et du four, suivant la ligne 17, 18, axe des tuyères.

P, P, *fig.* 6 à 8, ouvertures de travail des affineries.

V, V, *fig.* 6 à 9, foyers des deux affineries, avec leurs diverses plaques.

T, T, *fig.* 7 et 9, tuyères.

Q, Q, *fig.* 6 à 9, ouverture réservée dans la maçonnerie qui est derrière les plaques de varme. Cette ouverture est destinée à l'introduction des gueuses dans le foyer.

XX et U, U, *fig.* 6, 7 et 9, projections des parties de maçonnerie composant ensemble les passages qui conduisent la flamme de chaque affinerie dans le four commun. L'inspection attentive des figures fera mieux concevoir la disposition et les formes successives de la double voûte de ces passages, que ne le pourrait faire une description.

R, R', *fig.* 6 et 7, sole du four.

O, O, P', *fig.* 6 et 7, portes par lesquelles on introduit les bidons sur la sole R R' du four, pour être réchauffés et ensuite étirés au laminoir.

Y, *fig.* 6, canal pour introduire dans la cheminée la flamme qui a traversé le four. Z, *fig.* 6 et 9, cheminée.

Ces figures font voir que le canal Y, qui précède le tuyau Z de cheminée, a la même dimension que ce dernier dans

le sens perpendiculaire à l'axe de la sole, et une dimension moindre dans l'autre sens.

Relativement à l'usage et aux avantages des affineries et chaufferies à réverbère que l'on vient de décrire, voyez le texte, section XII.

FIN DE LA DESCRIPTION DES PLANCHES DE LA DEUXIÈME PARTIE.

TABLE DES MATIÈRES

CONTENUES

DANS LA DESCRIPTION DES PLANCHES.

DEUXIÈME PARTIE.

FABRICATION DU FER FORGÉ.

FIN DE LA TABLE DE LA DESCRIPTION DES PLANCHES DE LA DEUXIÈME PARTIE.





